

[Hjem](#) / [Utgaver](#) / [2015](#) / [1](#) / Riktig øyebeskyttelse reduser risikoen for øyeskader fra herdelamper

Nor Tannlegeforen Tidende
2015; 125: 50–7

Forfattere

Ellen M. Bruzell

dr scient, seniorforsker, Nordisk Institutt for Odontologiske Materialer (NIOM), Oslo. E-post: ebr@niom.no

Terje Christensen

dr philos, forsker, Statens strålevern, Østerås. E-post: terje.christensen@nrpa.no

Bjørn Johnsen

siv ing, forsker, Statens strålevern, Østerås. E-post: bjorn.johnsen@nrpa.no

Artikkelen har tidligere vært trykket i Tandläkartidningen nr. 1, 2015.

Ellen M. Bruzell, Terje Christensen og Bjørn Johnsen

Riktig øyebeskyttelse reduser risikoen for øyeskader fra herdelamper

Tannklinikker bruker ulike instrumenter og innretninger som sender ut optisk stråling. Av disse er herdelampen det instrumentet som brukes mest og som samtidig er i så nær avstand til operatøren at det foreligger en risiko for øyeskade. I denne artikkelen presenterer vi en oppdatering av ulike øyeskader og øyesykdommer som kan forårsakes eller påvirkes av optisk stråling. Det er foretatt oppmåling og vurdering av lysdempingen i 13 øyebeskyttende filtre. Halvparten av dem ble vurdert til å ha en tilfredsstillende lav lysgjennomgang, det vil si mindre enn

0,1 % i det aktuelle bølgelengdeområdet. Beskyttelsesbriller kan eliminere risiko for øyeskader ved lysherding av dentale materialer.

Stråling fra herdelamper utgjør den største risikoen for å utvikle eller pådra seg strålingsrelaterte øyeskader i vanlig tannlegepraksis. Denne påstanden kan begrunnes i flere forhold. Bruk av herdelamper forårsaker større eller mindre eksponering for personalet i de fleste klinikker. Samtidig er det kjente sammenhenger mellom egenskaper ved det lyset som herdelamper sender ut og netthinneskade, og det er praktisk mulig å oppnå skadelige doser. Dessuten er bruk av øyebeskyttelse ikke alltid fullstendig ved at den enten ikke anvendes hver gang eller at beskyttelsen har utilstrekkelig kvalitet. Bare omtrent to tredjedeler av personalet bruker øyebeskyttelse [1]. De øvrige strålingskildene i en tannklinik vil kunne bidra til en samlet, uheldig øyeeksponering, slik som lys fra arbeidslampen, hodelampe tilhørende lupebriller, feil eller manglende øyebeskyttelse ved bruk av laser eller utilsiktet bestråling fra steriliseringsskap. I klinikker med særlig utstrakt bruk av laser, og der lasersikkerheten er utilstrekkelig, kan faren for skade på enkeltpersoner være tilstede, men det finnes ikke noen risikovurdering som sammenligner den absolutte risikoen fra ulike kilder i tannlegepraksis.

Uheldige virkninger av lys på øyet

Øyet er utviklet for å transportere synlig lys til netthinnen, men all annen optisk stråling, altså ultrafiolett (UV) og infrarød (IR), vil med sine ulike bølgelengder og fotonenergier nå fremre vev i øyet som hornhinnen, fremre øyekammer, linsen og glasslegemet. En forutsetning for at skade oppstår er at strålingen blir absorbert og at lysdosen er over et visst nivå. Absorpsjon kan forekomme i cellenes DNA, vannmolekyler, proteiner og i de mange pigmentene som finnes i ulike deler av øyet, foruten i fotoreseptorene som videreformidler synsinntrykk til hjernen.

UV-induserte øyeskader

De skader som UV-stråling kan frambringe, vil affektere de ytterste vevene i øyet, som hornhinnen og linsen. Dette kan gi seg utslag i snøblindhet (keratoconjunctivitis nivalis) som kan oppstå under opphold i omgivelser med sterk refleksjon fra for eksempel snø, sjø eller sand [2]. Imidlertid er det UVB (280 – 320 nanometer (nm)) og UVC (100 – 280 nm) som kan forårsake denne type akutte skade, og slik stråling forekommer ikke fra vanlig brukte lyskilder i tannklinikken med unntak av steriliseringsenheter. Slik apparatur er basert på kortbølget UVC. Skader på hornhinnen er typisk for utilsiktet eksponering fra slike kilder. Mer langbølget UV (UVA) kan bidra til utvikling av grå stær (katarakt) [3], en tilstand som kjennetegnes ved fordunkling av øyelinsen.

Kataraktutvikling vil kunne forekomme etter akkumulert UV-påvirkning over lang tid. Det er diskusjon i fagmiljøet om hvor stor betydning UV har for utviklingen og i hvor store doser [4]. Det er kjent at strålingstyper som røntgen [5] og IR [6] kan bidra til kataraktutvikling, og det diskuteres om også synlig lys (400 – 800 nm) kan være en medvirkende faktor.

Virkningsmekanismen kan være celledskader forårsaket av kjemiske radikaler (med eller uten oksygen) som dannes når blått lys absorberes i ulike øyevev [3, 4]. Mens UVA kan føre til både direkte skade på f.eks. DNA og indirekte skade via fotosensibilisering (absorpsjon i for eksempel et pigment med påfølgende reaksjon og dannelse av oksygen- og andre radikaler som kan skade celler og vev), fører eksponering med synlig lys bare til fotosensibilisering. Laboriestudier indikerer at UVA kan spille en rolle for utviklingen av pterygium («surfers' eye»), en tilstand der bindevev vokser over hornhinnen [7].

Noen effekter som vanligvis forbindes med UV-eksponering, kan oppstå ved lengre bølgelengder enn 400 nm (det såkalte aksjonsspekteret strekker seg inn i det synlige området), siden disse teknisk definerte grensene for ulike typer stråling er satt på grunnlag mer av fysisk karakter enn av hensyn til biologiske reaksjoner. Det er verd å være oppmerksom på disse glidende overgangene mellom reaksjonsmekanismer forårsaket av UV eller synlig lys siden noen herdelamper sender ut et strålingsmaksimum ved omtrent 400 nm (overgangen mellom UV og synlig, demonstrert i Fig. 2) i tillegg til et vanlig forekommende maksimum ved omtrent 470 nm. De tidligere brukte halogen- og plasmabuelampene hadde ofte en større UV-komponent enn de fleste av dagens brukte LED-lamper.

Blålysinduserte øyeskader

Om øynene settes for blått lys (den synlige delen av spekteret) over en viss dose, kan skader oppstå i fotoreseptorene i øyets netthinne (retina). Det kan skje etter at lyset har blitt absorbert i synspigmenter. Alternativt kan absorpsjon og skade forekomme i netthinnens pigmentepitel. Disse skadene er av fotokjemisk art. Et kjent eksempel er skader i den gule flekk (macula lutea), der skarpsynet sitter, etter observasjon av solen under solformørkelse (solar retinit) [8].

Fotokjemiske skader kan skje akutt eller som følge av påvirkning over tid (kumulativ). Både teori og laboriestudier tyder på at oksidative mekanismer er med på å utvikle netthinneskader som følge av blålyseksponering. Det kan dannes ulike oksygen- og andre reaktive radikaler som kan gi celle- og vevskader på ulikt vis. Effekten av radikalene kan motvirkes av antioksydanter, som kan være tilstede i ulik mengde [8, 9]. Med alderen vil dannelse av og mengden lysabsorberende synspigmenter øke, og dermed vil også sannsynligheten øke for dannelse av reaktive oksygenspesies (ROS). Dette skjer samtidig som lageret av antioksydanter avtar. Disse forholdene peker i retning av at blått lys bidrar til utvikling av aldersrelatert makuladegenerasjon (AMD) [9].

Epidemiologiske studier er ikke like utvetydige når det gjelder sammenhengen mellom

eksponering fra optisk stråling og AMD, noe som kan skyldes at det er vanskelig å kontrollere eksponeringsforhold og å skille mellom effekter av UV og synlig lys, for eksempel fra sollys. Det er vist en svak sammenheng mellom blålyseksponering, men ikke for UV-eksponering, og utvikling av AMD [10] i epidemiologiske studier. I en nyere oversiktsartikkel ble ikke optisk stråling tillagt vekt som mulig bidrag til utvikling av AMD [11], mens det i en annen oversiktsartikkel fra samme år er ført grundig argumentasjon for sammenhengen [9].

Påvirkning av døgnrytmer

Alle kunstige lyskilder kan bidra til å påvirke døgnrytmen hos mennesker. Når synlig lys i bølgelengdeintervallet 460 – 500 nm blir absorbert i netthinnen, nærmere bestemt av melanopsin i de fremre gangliecellene, blir det sendt signaler til den delen av hjernen (hypothalamus) som styrer hormonforandringer i ulike kjertler, og som fører til døgnvariable, fysiologiske variasjoner. For å opprettholde døgnrytmene er fravær av lys om kvelden nødvendig. Da dannes blant annet søvnhormonet melatonin [12]. Det er liten grunn til å tro at lyseksponering fra herdelamper, brukt om dagen, vil bidra til påvirkning av døgnrytmer. Ved kvelds- eller nattarbeid, derimot, er det verd å merke seg at den samlede lyspåvirkningen i tannklinikken kan være høy, og at det kan føre til mindre produksjon av melatonin.

Tilfeller som krever spesiell påpasselighet

Behandlingssituasjonen

Vanligvis er det ikke nødvendig å utstyre pasienten med lysbeskyttende briller når man lysherder tannmaterialer, men eventuelle assistenter eller pårørende som sitter nær pasienten i en slik vinkel at øynene deres kan treffes av reflektert lys, bør beskyttes. Risikoen for utilsiktet lyseksponering øker når fortenner behandles.

Kunstig linse

Pasienter eller behandlere med ulike øyesykdommer eller som har intraokulære linseimplantater (f.eks. etter en kataraktoperasjon) kan ha økt risiko for øyeskade når de utsettes for UV og synlig lys. Linseimplantatene har som regel UV-beskyttelse og noen har også beskyttelse mot deler av det synlige lyset, men bølgelengder fra en LED-herdelampe passerer lettere gjennom slike enn gjennom den normale linsen hos en middelaldrende person [13].

Fotosensibilisering av legemidler og lysfølsomhet

En rekke legemidler kan absorbere UV og synlig lys og gi opphav til fototoksiske og fotimmunologiske reaksjoner. Lys kan reagere med lysabsorberende legemidler eller nedbrytingsprodukter av disse som blir lagret i øyevev og hud. Munnhulen gir i tillegg lyset tilgang til blodbanen gjennom godt vaskularisert vev og til tenner, som også har evne til å

akkumulere enkelte medikamenter. Eksempler på vanlig brukte legemidler som kan gi opphav til fotosensibilisering, er enkelte NSAIDS, antidepressiva, midler mot psoriasis og antibiotika (tetrasykliner) [14]. Et reseptfritt naturlegemiddel med fotosensibiliserende virkning er johannesurt (med virkestoffet hypericin)[9]. Dette middelet kan akkumuleres i netthinnen. Forutsetningen for at et lege- eller næringsmiddel kan utøve fototoksisk virkning i netthinnen, er nettopp at det kan krysse blod-netthinnebarrieren, har evnen til å absorbere lys og kan binde seg til biomolekyler i netthinnen. Enkelte nanopartikler, som fullerol, har disse egenskapene [9]. Sykdommer som f.eks. porfyrier og urticaria solaris samt fotodynamisk behandling av for eksempel hudkreft og psoriasisbehandling gir økt lysfølsomhet.

Stråling fra andre lyskilder

Optisk stråling fra andre lyskilder enn herdelamper i tannklinikken vil i prinsippet kunne gi tilsvarende øyeskader som fra herdelamper, men i mindre grad, avhengig av faktorer som bølgelengde, irradians og utbredelse av lysstrålen. Lasere, derimot sender ut optisk stråling i en samlet, svært tynn stråle som ofte gir svært høy irradians. Lyset fra en laser kan bestå av én eller noen få bølgelengder fra hele den optiske delen av spekteret, slik at helt andre fysiske og biologiske virkninger i øyet, og dermed andre øyeskader, kan oppstå enn de som skyldes eksponering fra herdelamper. Dette temaet er behandlet i andre publikasjoner [15]. Som en interessant sammenligning av lysmengden som kan nå inn til øyet fra ulike kilder, kan det nevnes at irradiansen fra herdelamper kan være 1000 – 10 000 ganger høyere enn sollysirradiansen på jordoverflaten (Oslo i juli) innen visse bølgelengdeområder, mens en laser kan gi en irradians som er det mangedobbelte av en herdelampe.

Heldigvis kan risiko for øyeskade enkelt reduseres ved ulike mottiltak. For å oppnå best mulig materialherding, må lyslederen holdes parallelt med materialoverflaten i kort og stabil avstand. Det er lettere å holde lampen stødig når man ser på behandlingsområdet under belysningen. Risikoen for øyeskade kan reduseres ved ikke å bruke unødig høy lysstyrke (irradians) eller unødig lang belysningstid eller ved å velge teknologi som hindrer lys i å komme utenfor behandlingsområdet. Likevel er det nødvendig å bruke gjennomsiktige, men samtidig lysbeskyttende briller eller filter. Disse kan utformes på ulike måter, som påmonterte plater på herdelampen, håndholdte filterplater eller plater som dekker arbeidsområdet, eller som briller. Resultater fra en undersøkelse av øyebeskyttende filtre [16] viste at kun halvparten var av tilfredsstillende kvalitet. Målet med studien vår var å måle og vurdere beskyttelsesgraden til filtre opp mot de lamper som er i bruk i dagens tannklinikker. Et annet mål var å finne ut om en større andel av øyebeskyttende filtre som selges på dagens marked var av god nok kvalitet sammenlignet med produktene i den forrige undersøkelsen [16], som ble utført i 2006.

Materialer og metoder

Åtte av de 13 filtrene som ble vurdert ble innkjøpt oktober-november 2011 fra skandinaviske forhandlere. Utvalget ble fremskaffet gjennom søk på nettsidene til leverandører av

dentalutstyr og fra skandinaviske dentalmesser. Tre beskyttelsesplater som påmonteres herdelamper, ble valgt tilfeldig blant NIOMs utvalg av 15 slike lamper som var anskaffet i perioden 2008 - 2011. Transmisjonsmåling av Univet og MO Wing ble foretatt separat (Tabell 1).

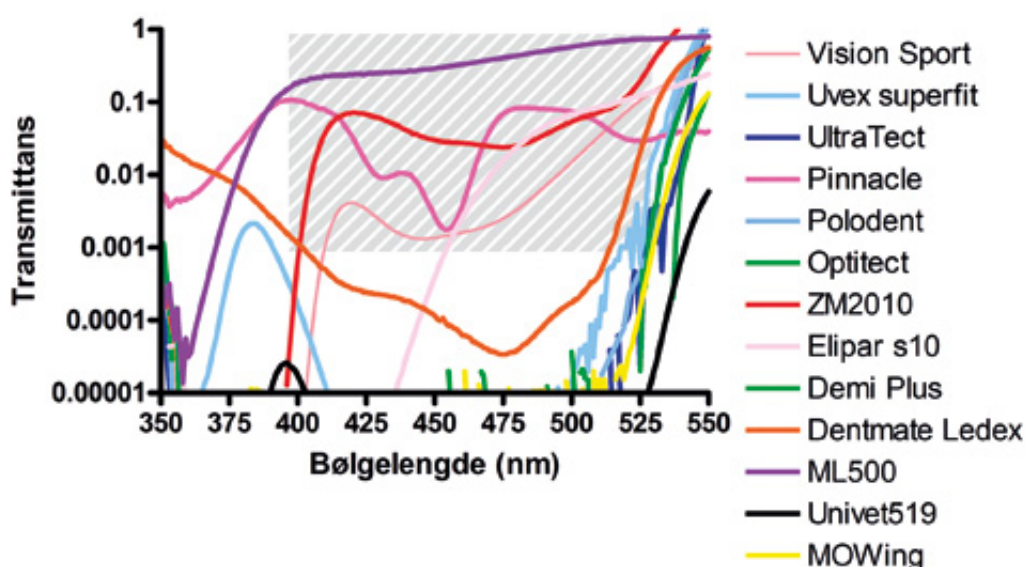
Tabell 1. Produktinformasjon om øyebeskyttelsen som ble vurdert

Produktnavn	Produsent	Leverandør i Sverige	Type øyebeskyttelse	Kvalitets- eller testmerking av produkt
[Demi Plus]	sds Kerr, Bioggio, Sveits		Plate på herdelampe	Nei
[Dentmate Ledex]	Dentmate, New Taipei City, Taiwan		Plate på herdelampe	Nei
[3M ESPE Elipar s10]	3M Dental Products, St. Paul, MN, USA		Plate på herdelampe	Nei
ML filter 500	Multilens AB, Mölnlycke, Sverige		Flip-on til brille	Ja (emballasje)
MO Wing	MeridentOptergo AB, Mölnlycke, Sverige		Bøyd plate	Ja (produkt)
Optitect-CL UV- + kaltlichtbrille	Hager &Werken GmbH&Co, Duisburg, Tyskland	Dab Dental	Brille	Nei
Pinnacle	Kerr Total Care, KaVo Kerr Group, Washington DC, USA		Utskiftbart filter til medfølgende innfatning	Ja (emballasje og bruksanvisning)
Polodent	Polodent instruments, Polo MB, Oisterwijk, Nederland	Cenger Scandinavia	Brille	Ja (produkt)
UltraTect	Uvex Sperian ompakket av Ultradent Inc, South Jordan, UT, USA	Åhren Dental Consult	Brille	Ja (produkt)
Univet 519 UV 525	Univet S.r.l., Rezzato, Italia		Brille	Ja (produkt)
Uvex superfit	Uvex Arbeitsschutz GmbH, Fürth, Tyskland	Forssbergs Dental	Brille	Ja (produkt, emballasje, bruksanvisning inkl. transmisjonsspektrum)
Vision sport	Vision, Cherry Hill, NJ, USA		Brille	Ja (produkt)
Zoom! (Leverandørnavn: ZM2010)	Discus Dental LLC, Culver City, CA, USA	Unident	Brille	Ja (produkt, emballasje)

Oppmåling av filtre

Måling av produktenes filteregenskaper i bølgelengdeområdet 350 - 800 nm (spektral transmittans) ble utført ved Statens stråleverns optiske laboratorium, Østerås, Norge. Tolv av filtrene ble bestrålt polykromatisk med halogenherdelampen VCL Complete (sds Kerr,

Danbury, CT, USA) som lyskilde. Måling av lysfluksen med og uten filter (transmittans) er tidligere beskrevet [16]. Spektralradiometerets målesikkerhet var innenfor 5 %. Instrumentet ble kalibrert med sporbarhet til National Institute of Standards and Technology (NIST), Gaithersburg, MD, USA via Sveriges Tekniska Forskningsinstitut (SP), Borås, Sverige. Filteret «MO Wing» ble bestrålt polykromatisk med en 100 W Xenonlampe (Model 68805, SN 2511, Oriel Instruments, Stratford, CT, USA), og måleverdiene ble tatt opp mellom 250 - 800 nm. Avstanden mellom lampen og filteret var ca. 34 cm. Den integrerende sfæren som fanget opp lysfluksen ble holdt så nær filteret som mulig (3 mm). Irradianskalibreringen er sporbar til Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Braunschweig, Tyskland via Physikalisch-Meteorologisches Observatorium Davos - World Radiation Center (PMOD-WRC), Davos, Sveits. Transmittansspektrene i figur 1 fremkommer ved forholdet mellom spektrum fra lyskilden med filter og et referansespektrum fra samme lyskilde uten filter.



Figur 1: Lysgjennomgang (transmittans) av øyebeskyttende filtre (0,001 tilsvarer 0,1 %). Demi Plus, Dentmate Ledex og 3M ESPE Elipar s10 er navnene på herdelampene med de aktuelle, påmonterte filtrene. Transmittansspektrene fremkommer gjennom forholdet mellom spektrum fra en lyskilde med filter foran og et referansespektrum fra samme kilde uten filter.

Oppmåling av herdelamper

Spektral karakterisering av et utvalg herdelamper med ulik irradians ble foretatt i perioden 2007 - 2011: Elipar Freelight 2 (3M, St. Paul, MN, USA), DemiPlus (sds Kerr, Orange, CA, USA), bluephase 16i (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein), bluephase 20i (Ivoclar Vivadent), Valo (standard mode) (Ultradent, South Jordan, UT, USA), SmartLite iQ2 (Dentsply, York, PA, USA), FlashSoft og FlashMax med og uten avtagbare hylser (CMS Dental, København, Danmark), og LEDemetron II med stor og liten lysguide (sds Kerr).

Metoden er beskrevet tidligere [17]. Spektralradiometeret som ble brukt ble kalibrert mot en standardlampe og ga måleverdier uttrykt som spektral irradians ($\text{mW}/\text{cm}^2/\text{nm}$). Irradiansen på

lyskildens overflate (eksitans) kunne dermed beregnes. Den varierte mellom 635 mW/cm^2 og 4600 mW/cm^2 ($\pm 7\%$). Radiansen i $\text{mW/cm}^2\text{sr}$ ble beregnet ved å måle eksitansen til lyset fra lampene og dividere med romvinkelen (målt i steradianer, sr) til lyskjeglen. Tilsvarende halve planvinkler varierte mellom 0,31 og 0,80 radianer ($\pm 21\%$).

Beregning av lengste «tillatte» eksponeringstid, t_{max} , for herdelamper (uten beskyttelsesfilter)

- *Direkte, blått lys fra lampe til operatørens øyne*

Dosegrensen på $100 \text{ J/cm}^2\text{sr}$ per dag som er fastsatt [18, 19] for akutt og kronisk eksponering av øyet (retinal) gjelder for kunstige kilder for arbeidstakere og almenheten i visse eksponeringstider innen en arbeidsdag:

$$t_{\text{max,direkte}} = (100 \text{ J/cm}^2 \text{ sr}) / L_{\text{blått}} \quad (\text{likning 1})$$

hvor $L_{\text{blått}}$ er kilderadiansen, L_{λ} , ($390 < \lambda < 700 \text{ nm}$) multiplisert med en vektingsfunksjon, «blålysskedefunksjonen», $B(\lambda)$ [17 - 19].

- *Reflektert, blått lys fra pasientenes tenner til lampeoperatørens øyne*

I beregningene er forutsatt isotrop spredning fra tannoverflaten og en refleksjon på 30 % som utredet i tidligere beregninger [17]. Eksponeringsdosegrensen gir:

$$t_{\text{max,reflektert}} = (100 \text{ J/cm}^2 \text{ sr}) / L_{\text{tann}} \quad (\text{likning 2})$$

der $L_{\text{tann}} = \rho \times L_{\text{blått}} \times \sin^2\theta$, der ρ er reflektans og θ er den halve vinkelen som lyskjeglen danner om lyskilden betraktes fra tennene.

Beregning av lengste «tillatte» eksponeringstid, t_{max} , med beskyttelsesfilter

1) Vurdering med høy sikkerhetsmargin (basert på filterets maksimale transmittans)

t_{max} med filter foran den aktuelle lampen ble regnet ut på følgende måte:

a) direkte bestråling:

$$t_{\text{max,direkte,filter}} = t_{\text{max,direkte}} / T_{\text{max}}$$

der T_{max} var den høyeste transmittansverdien for det aktuelle filteret i bølglengdeområdet 390 - 525 nm

b) reflektert bestråling:

$$t_{\max, \text{reflektert, filter}} = t_{\max, \text{reflektert}} / T_{\max}$$

2) Vurdering med lav sikkerhetsmargin (vekting av filterspektrum med lampespektrum)

$$E_{f,b} = \int_{390}^{525} [E_{\text{blått, lampe}}(\lambda) T_{\text{filter}}(\lambda)] d\lambda$$

der $E_{\text{blått, lampe}}(\lambda)$ er blålysvektet irradians av lampen ved en bestemt bølgelengde, $T_{\text{filter}}(\lambda)$ er transmittansen ved en bestemt bølgelengde og $E_{f,b}$ er filtervektet, blålysvektet irradians. Ved å dele på lampens romvinkel fremkommer filtervektet, blålysvektet radians, som kan settes inn i ligningene (1) og (2) ovenfor for å finne t_{\max} -verdier for henholdsvis direkte og reflektert bestråling.

Resultater

Transmittans av beskyttelsesfiltre

Andelen lys som slapp gjennom beskyttelsesfiltrene (transmittans uttrykt som % lysgjennomgang sammenlignet med lys fra lampen uten filter foran) varierte mellom omtrent 0,001 % (deteksjonsgrensen) og 73 % i bølgelengdeintervallet 390 - 525 nm (figur 1).

Eksponering fra herdelamper uten beskyttelsesfilter

Maksimal tillatt eksponeringstid for direkte blålysbestråling, t_{\max} , fra utvalgte LED-herdelamper med forskjellig irradians var i gjennomsnitt 1,9 min (område: 0,5 - 3,9 min). Tilsvarende t_{\max} for reflektert bestråling var 23,7 min (område: 5,1 - 89,9 min) (tabell 2).

Tabell 2. «Maksimal tillatt eksponeringstid» for direkte og reflektert bestråling fra herdelamper øyebeskyttelse

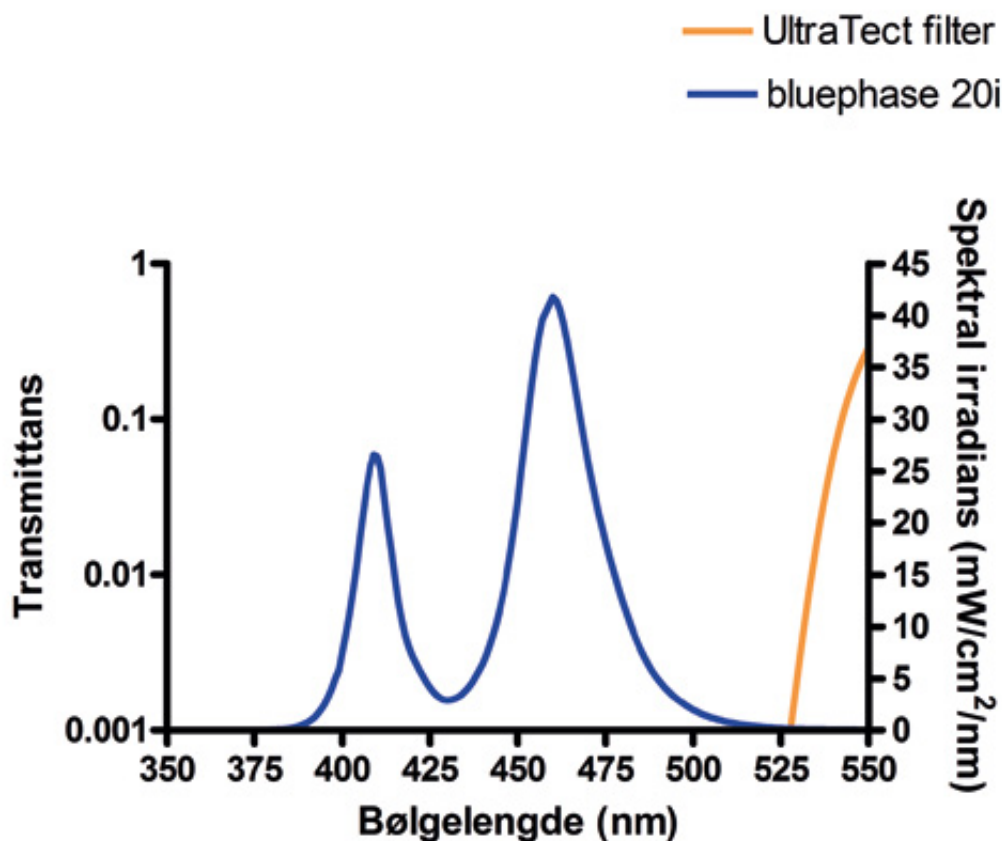
	Elipar FreeLight 2	Demi Plus	bluephase 20i	Valo* 1003	bluephase 16i	SmartLite iQ2	FlashSoft m/hylse	FlashSoft u/hylse	FlashMax m/hylse	FlashMax u/hylse
Irradians, mW/cm ²	966	1579	1560	1003	2159	743	1408	2213	3860	4600
Blålysvektet radians, mW/cm ² /sr	608	2025	868	656	1289	424	1235	1113	3148	2122
Planvinkel, rad	0,7	0,5	0,6	0,3	0,7	0,6	0,5	0,7	0,6	0,8
t_{\max} direkte bestråling, minutter	2,7	0,8	1,9	2,5	1,3	3,9	1,4	1,5	0,5	0,8
t_{\max}	22,4	13,2	17,8	89,9	10,8	39,3	17,8	11,2	5,5	5,1

reflektert bestråling, minutter									
---------------------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--

* Verdier for Valo gjelder for «standard mode». sr: steradian; rad: radian

Risikovurdering med høy sikkerhetsmargin

t_{max} som gjelder for direkte og reflektert stråling gjennom filtrene fra en herdelampe med irradians i størrelsesorden 4000 mW/cm^2 , ble kategorisert i tre grupper avhengig av egnethet som blålysbeskyttelse: utmerket, middels og utilstrekkelig beskyttelse (tabell 3). Beregningene ble gjort på grunnlag av den høyeste transmittansverdien i det aktuelle bølgelengdeområdet. For å sikre øyebeskyttelse gjennom en 8-timers arbeidsdag måtte filtrene ha en transmittans på mindre enn 0,1 % i bølgelengdeområdet 390 - 525 nm (området utenfor det skraverte, grå rektangelet i figur 1). Dette kravet ble tilfredstilt hos syv av 13 filtre (se eksempel, figur 2).



Figur 2: Et eksempel på et tilstrekkelig filter, Ultratect, med transmittans lavere enn 0,1 % i bølgelengdeområdet 390 - 525 nm. Transmittansspekteret fra filteret overlapper ikke med emisjonsspekteret fra herdelampen bluephase20i.

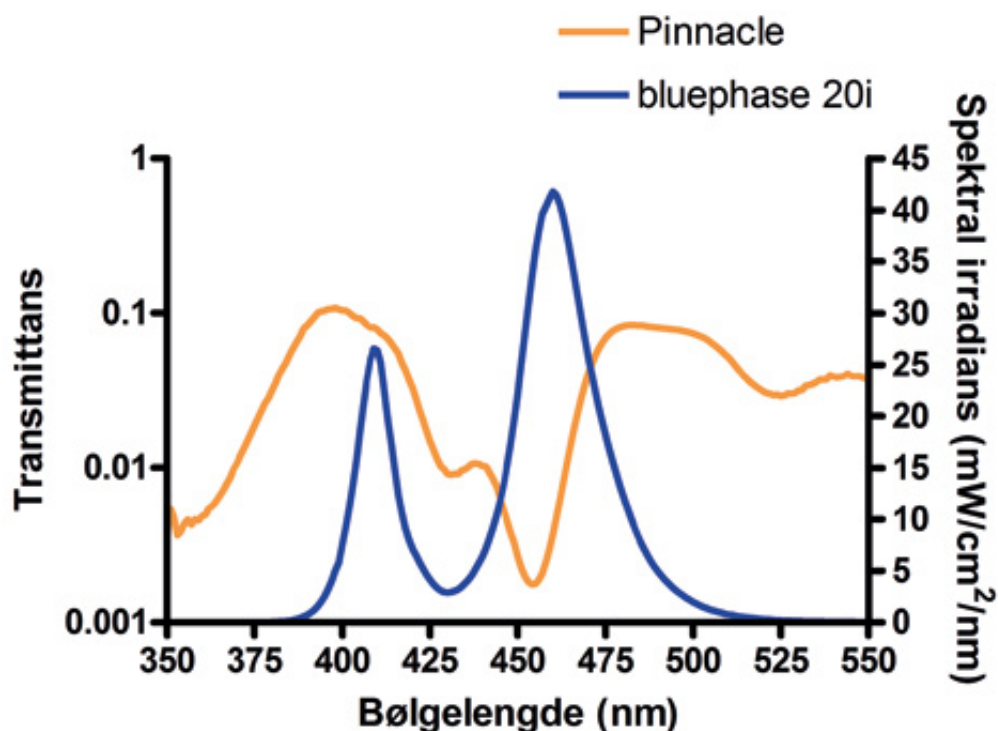
Tabell 3. Beskyttelse fra filtre angitt som «maksimal tillatte eksponeringstid», t_{max} , med høy sikkerhetsmargin. Irradians $\geq 3000 \text{ mW/cm}^2$ fra en herdelampe er lagt til grunn i beregningene

Utmerket beskyttelse	Transmittans % (maksimum)	t _{max} , minst (timer)	
		Reflektert	Direkte
DemiPlus (filter på lampe)	0,0001	Mer enn 8 timer(21 - 70 000 timer) Univet: mer enn ~17 timer ved 1000 mW/cm ²	Uvex superfit: 2,2 timer. Øvrige mer enn 8 timer (24 - 7000 timer)
OptitectCL	0,0020		
Polodent	0,0220		
UltraTect	0,0400		
UvexSuperfit*	0,1000		
MO wing	0,034		
Univet519	0,018		
Middels beskyttelse			
DentmateLedex (filter på lampe)	2	4,1	0,4
Utilstrekkelig beskyttelse			
VisionSport	11	0,9	0,08
Elipar s10 (filter på lampe)	12	0,7	0,07
ML500	73	0,1	0,01
Pinnacle	10	0,9	0,08
ZM2010	20	0,4	0,05

* <0,1 % i gjennomsnitt for bølgelengder 519 - 525 nm, selv om enkelte verdier i dette området er høyere (maksimum: 0,4 %) (se figur 1). Middels beskyttelse: Kan brukes til lamper med irradianser lavere enn omtrent 3000 mW/cm².

Risikovurdering med lav sikkerhetsmargin

Beregning av t_{max} på grunnlag av kombinasjonen av bestemte herdelamper og filtre viste at tre av 13 filtre vil beskytte kortere enn 8 t. Dette gjelder hvis de blir bestrålt enten direkte eller med reflektert lys fra herdelamper med irradianser i størrelsesorden 1000 mW/cm² eller høyere (tabell 4, se eksempel figur 3).



Figur 3: Et eksempel på et utilstrekkelig filter, Pinnacle, som beskytter kortere enn 8 timer mot direkte eller reflektert lys fra herdelamper med irradianser $\leq 1000 \text{ mW/cm}^2$. Transmittansspekteret fra filteret overlapper med emisjonsspekteret fra herdelampen bluephase20i.

Tabell 4. Beskyttelse fra filtre angitt som «maksimal tillatte eksponeringstid», t_{max} , med lav sikkerhetsmargin. Filtrene beskytter kortere enn 8 t ved eksponering fra reflektert og direkte stråling fra minst én av herdelampene. Lamper med ulik irradians og/eller lyskjegler ble valgt for å demonstrere sammenhengen med t_{max} . Tallene i parentes tilsvarende $t_{\text{max}} > 8 \text{ t}$, men er tatt med for sammenligningens skyld.

t_{max} (timer)		Herdelamper (irradians, mW/cm^2 ; romvinkel, sr)				
		Elipar Freelight 2(966; 1,3)	Demi Plus(1579; 0,7)	bluephase20i(1560; 1,1)	bluephase16i(2159; 1,3)	FlashMax* (3860; 0,9)
ML500	Reflektert	1,20	0,70	0,90	0,50	0,30
	Direkte	0,10	0,04	0,10	0,06	0,03
ZM2010	Reflektert	(12,40)	6,70	? 8	4,90	3,10
	Direkte	1,50	0,40	0,90	0,60	0,30
Pinnacle	Reflektert	(33,22)	(20,6)	(11,2)	(15,4)	5,0
	Direkte	4,1	1,3	1,2	1,8	0,5

* Med avtagbar hylse. Irradians er høyere uten denne.

Diskusjon

Beregningsmetoder

Den høye verdien for maksimal tillatt eksponeringstid, t_{\max} , som fremkom ved reflektert bestråling fra lampen Valo (tabell 2) skyldes den mindre (plan)vinkelen i lyskjeglen fra denne lampen sammenlignet med de andre lampene (se forklaring av L_{tann} i ligning 2). Tre egenskaper ved lampenes utstråling innvirket på beregningen t_{\max} : irradians, romvinkel og spektrum. Eksempelvis ble t_{\max} lavere når filtrene ML500 og ZM2010 ble bestrålt av DemiPlus enn av bluephase 20i selv om lampene sendte ut omtrent like mye lys. Forskjellen lå i at størrelsen på den lyskjeglen som DemiPlus sendte ut var omtrent halvparten så stor som den som bluephase 20i sendte ut (tabell 4).

De høyere t_{\max} -verdiene (tabell 4) som ble oppnådd med filteret Pinnacle ved bestråling av DemiPlus i forhold til bluephase 20i, kan forklares ved hjelp av formen på transmisjonsspekteret til Pinnacle sett i forhold til utstråling (emisjon-) spektrene til lampene: Ved utstrålingsmaksimum til DemiPlus (452 nm) er filtertransmittansen lavere (mindre lys slipper gjennom filteret) enn ved utstrålingsmaksimum til bluephase 20i (460 nm) (figur 1). Den høye irradiansen til FlashMax ga generelt korte t_{\max} -verdier. I tillegg sendte lampen ut en smal lyskegle (liten romvinkel) som også bidro til korte t_{\max} -verdier. DemiPlus sendte ut en enda smalere lyskegle enn FlashMax, men siden irradiansen ikke var så høy som for FlashMax, ble ikke t_{\max} -verdiene like korte som for Flashmax (tabell 4). En lampe som både sender ut mye lys (høy irradians) og som fordeler lyset i en smal lyskegle vil altså kunne bryte grenseverdiene for blått lys til øyet i løpet av kort tid.

De beste filtrene hadde så lave transmittansverdier (tabell 3) at de vil beskytte mot høyere lampeirradianser enn de som er nevnt i tabell 2. De vil også beskytte godt selv om lampenes utstrålingsmaksimum skulle sammenfalle med bølgelengdeområder der disse gode filtrene slipper gjennom mest lys (området utenom skravert, grå firkant i figur 1). Derimot vil de middels gode og dårligste filtrene enten slippe gjennom for mye lys fra de lampene som ble brukt i denne undersøkelsen eller det er liten sikkerhetsmargin om man bytter lampe til en som er litt sterkere eller sender ut lys med en litt annen sammensetning av bølgelengder. Noen LED-lamper, slik som for eksempel bluephase 20i (figur 2) og Valo som ble brukt i denne undersøkelsen, har to utstrålingsmaksima hvorav ett er nær UV-området (< 410 nm). Filteret må dekke godt i begge bølgelengdeområdene.

Risikovurdering

Maksimalt tillatte eksponeringstider som vist i tabell 3, gir en viss sikkerhetsmargin ettersom de er basert på en teoretisk «worst case»-kombinasjon av et bestemt filter og en lampe på mellom 3000 og 4000 mW/cm². Den mer presise beregningsmetoden (tabell 4) gjelder for kombinasjonen av kjent lampe og kjent filter. Derfor vil ikke den gjelde dersom man bytter lampe eller det skjer endringer i lampenes irradians. Slike endringer kan skje som følge av elektriske eller mekaniske feil eller ytre skader som for eksempel sprekker i fiberoptikken i

lyslederen. Tilsvarende, om det oppstår skader på øyebeskyttelsen/filteret, for eksempel ved rengjøring med uegnet vaskemiddel, vil ikke resultatene som ble beregnet med lav sikkerhetsmargin gjelde (tabell 4).

Den samlede tiden som går med til lysherding i klinikken er av svært varierende varighet, og for noens del vil utgjøre noen minutter per dag. Imidlertid er det grunn til å tro at dette tallet kan bli betydelig høyere ved enkelte typer behandling, slik som ved amalgamsanering, andre tilfeller der det legges flere fyllinger i én seanse og kjeveortopedisk behandling hvor det inngår lysherding av brackets. Ved kjeveortopedisk behandling kan samlet lysherdingstid komme opp i 2.5 timer/dag per operatør forutsatt at man herder hver tann i 20 sekunder og har 14 pasienter per dag. Daglig lysherdingstid blant norske tannleger har blitt rapportert å være opp mot 45 min [1]. Alle filtrene i kategorien «utilstrekkelig beskyttelse» beskyttet i kortere tid enn 1 t, så om daglig lysherdingstid anslås til omtrent 1 t, er det svært lav sikkerhetsmargin ved bruk av disse filtrene. Det er med en viss forsiktighet det kan sies at et filter kan brukes med lamper som er svakere enn en viss verdi, f.eks. 3000 mW/cm² (tabell 3). Problemet er at irradiansverdien ikke alltid er kjent og at den kan, som beskrevet ovenfor, endre seg ved bruk av lampen. Dessuten kan refleksjonen øke hvis lyset treffer metallinstrumenter og andre sterkt reflekterende overflater.

Grenseverdiene er satt ut fra en 8-timers arbeidsdag, og sier ikke noe om gjentatt eksponering, men det er kjent at lysinduserte netthinneskader kan forekomme etter akkumulerte bestrålinger over tid hvor hver bestråling ikke nødvendigvis bryter grenseverdien for akutt bestråling [8]. For en stor del av tannhelsepersonellet er lysherding en daglig aktivitet som kan gi en samlet høy eksponering gjennom flere år.

Generelle betraktninger om øyebeskyttelse

Det er viktig å ha informasjon om både filter- og lampespektrum når man skal finne egnet øyebeskyttelse. I praksis er ikke denne informasjonen enkel å få tak i: Av de 13 filterproduktene som ble testet, har kun UvexSuperfit vedlagt transmisjonsspektrum i pakningsvedlegget. Øyebeskyttelsen «ML500», som var blant filtrene som kom dårligst ut i testen, ble undersøkt fordi den ble brukt i en tannlegepraksis i Sverige. Det er nærliggende å tro at dette filteret har blitt solgt ved en feiltagelse, og at det var et annet av forhandlerens filtre som skulle vært brukt ved lysherding. Dette eksempelet viser hvor viktig det er at forhandlerne har kunnskap om hva øyebeskyttelsen skal brukes til og at man ikke kun velger et tilfeldig oransje filter.

Arealet av påmonterte plater på lampenes lysleder er relativt lite, og det er vanskelig å posisjonere platen slik at ikke reflektert stråling slipper forbi og kan treffe øyet på operatør eller assistent. Dermed gir slike plater en falsk beskyttelse. I en tidligere undersøkelsen [16] fant vi at kvaliteten var tilstrekkelig for én av tre avtakbare filterplater. I den nåværende undersøkelsen var også en av tre slike filterplater av svært god kvalitet, men det har liten verdi

når størrelsen er for liten og det er vanskelig å posisjonere det riktig. Håndholdte plater vil gi god beskyttelse om det holdes slik at lyset hindres fra å nå øynene både til den som herder og den som holder platen. Best beskyttelse vil briller eller visir gi, eventuelt en plate som er stor nok til å dekke pasientens munn og lyslederen. Mange hevder at det er vanskelig å kombinere øyebeskyttelse mot blått lys med bruk av lupebriller. Denne kombinasjonen blir praktisert ulikt, fra ikke å bruke lupebriller ved herding, til å bytte mellom disse og øyebeskyttelsen. En mer kreativ løsning er å feste en brillesnor i lupebrillene så de kan senkes og bytte plass med filterbriller som senkes fra panneposisjon til neseroten. Det anbefales ikke å snu hodet vekk under herding da det viser seg at hånden som holder lampen lett vil bevege seg slik at lyset fra herdelampen kommer på feil sted eller i for stor avstand slik at herdingen blir ufullstendig [20]. Faren for å varme opp bløtvev vil også kunne være tilstede når man ikke har full kontroll på posisjonen av herdelampen.

Bruk av lupebriller vil ikke nødvendigvis øke faren for øyeskader. Lysemengden til øyet vil øke, men den vil bli spredt over et større område i netthinnen (på grunn av forstørrelseseffekten), slik at lysintensiteten (irradiansen som når netthinnen) ikke blir større. På den annen side kan det være at automatiske øyebevegelser vil avta fordi man stirrer mer med lupebrillene på, og det kan igjen føre til at lysmengden til netthinnen vil øke. Automatiske øyebevegelser vil ellers fordele lysenergien utover et større område av netthinnen og derved beskytte ved at hvert punkt får en lavere total lysdose.

Konklusjon

Andelen tilstrekkelig øyebeskyttende produkter som er tilgjengelig på markedet til bruk ved lysherding av dentale materialer, har ikke endret seg siden forrige undersøkelse i 2006.

Bruk av øyebeskyttelse i form av filterbriller eller -plater er enkle tiltak som kan eliminere eller sterkt minske risikoen for eventuelle øyeskader.

Risikoen for øyeskader uten bruk av beskyttelse er avhengig av lampenes ulike fysiske egenskaper.

Om man benytter en lavere sikkerhetsmargin ved beregning av «maksimal tillatt eksponeringstid», vil 10 av de 13 testede produktene være tilstrekkelige, men denne beregningen krever at kombinasjonene av spektrene til beskyttelsesfiltrene og herdelampene er kjent.

Blått lys og UV kan gi akutte øyeskader. Laboratorie- og epidemiologiske undersøkelser peker i retning av at blått lys kan bidra både til kroniske øyelidelser som utvikling av katarakt og aldersrelatert makuladegenerasjon.

Klinisk relevans

Lysherding er en del av klinikerens hverdag. Ettersom lyset fra herdelamper har blitt sterkere med årene og bruken har økt i takt med bruken av komposittmaterialer, er det viktig å bruke øyebeskyttelse for å bidra til å redusere mulig lysindusert øyeskade. Kjennskap til hvilke skader som kan oppstå kan bidra til å øke bevisstheten rundt beskyttelse mot lys- og UV-indusert påvirkning generelt.

Takk

Studien fikk finansiell støtte av Kunskapscentrum för Dentala Material, Socialstyrelsen, Sverige, og Helsedirektoratet, Norge. Forfatterne takker Tommy Nakken Aalerud, (tidligere ansatt) og Thomas B. Aleksandersen, begge Statens strålevern, Østerås, Norge for oppmålinger av beskyttelsesfiltre.

Forklaring av uttrykk

Integrerende sfære: En optisk komponent i lysmålerutstyr som ser ut som en hul kule. Overflaten på innsiden er laget av et reflekterende belegg som gjør at lysfeltet på kuleflaten er utjevnet. En lyssensor er plassert inne i kula og måler det utjevnete lyset. Integrerende kuler har ofte større areal på inngangsporten enn en flat sensor, som kan være en fordel når lysfeltet er bredt og ujevnt.

Irradians: Effekt av fotoner fra en lyskilde per flateenhet på en plan flate som treffes av fotonene (W/m^2 ; for herdelamper oftest målt i milliwatt per kvadratcentimeter (mW/cm^2)). Mer populariserte betegnelser er lysstyrke eller lysintensitet.

Isotrop spredning: lik lysutsendelse i alle retninger fra alle punkter på en overflate.

Lysfluks: Effekt (watt) av fotoner som sendes ut fra lyskilden i alle retninger.

Optisk stråling: Ultrafiolett (UV)-, synlig- og infrarød (IR) stråling representerer elektromagnetisk stråling i bølgelengdeintervallet 100 nm - ca 0,5 mm. UV- og IR-stråling deles ofte inn i mindre bølgelengdeintervaller, kalt henholdsvis UVC, UVB og UVA og IRA, IRB og IRC eller nær-og fjern IR.

Polykromatisk: flere bølgelengder

Radians: Effekt av fotoner fra en lyskilde per flateenhet og romvinkel, sett fra en tenkt kuleoverflate ($\text{W}/\text{m}^2 \text{ sr}$).

Reflektans: den fraksjonen av innkommende lys som blir reflektert

Retina: netthinne

Romvinkel: Et mål på størrelsen på lyskjeglen fra en lampe. Den er uttrykt som arealet på den kuleoverflaten som enden av kjeglen spenner over delt på kvadratet av radien til kulen (man tenker seg at lampen er satt i sentrum av en tenkt kule). Enhet: steradian (sr).

Spektral transmittans: Lysgjennomgang gjennom et filter for hver bølgelengde av lyset. Måleenhet: Relativ mengde lys (ubenevnt/nanometer (nm)).

Vekte: Brukes i matematisk sammenheng. I dette tilfellet med spektra blir hvert punkt med en verdi i et intervall i en dataserie multiplisert med samhørende punkt i en annen dataserie. Produktspekteret demonstrerer bestemte egenskaper slik som f.eks. at blått lys gir mest netthinneskade ved 440 nm.

English summary

Bruzell EM, Christensen T, Johnsen B.

Appropriate eye protection filters prevent ocular damage from curing light

A study was performed to assess 13 different eye protection filters, glasses and shields, intended for use with dental material light curing procedures as a follow-up to a similar investigation in 2006. To assess the safety and efficiency, spectra of curing lamps and filters were measured using a spectroradiometric instrument and integrating sphere. Based on international guidelines, from the International Commission on Non-Ionising Radiation Protection for blue light exposure to the eyes, the "maximum permissible exposure time" (t_{max}) for the protection filters were calculated with high and low safety margins.

The high safety margin risk estimation was based on transmission spectra of the filters, whereas the estimation for accepting a lower safety margin was based on the overlap between emission spectra of several different curing lamps with known emission and the transmission spectra of the filters. According to the high safety estimations, 7 of 13 products had acceptable filtering qualities. Low safety estimations increased the number of acceptable filters to 10. Eye hazards and associated diseases, suggested to be induced by UV radiation and/or blue light were discussed. UV and blue light could cause acute eye hazards, whereas increasing evidence suggests that blue light contributes to chronic diseases, such as cataracts and age-related macular degeneration. The use of eye protection with adequately low transmission properties (0,1 %) in the relevant wavelength range (390-525 nm) will eliminate or greatly reduce the risk of eye hazards when light curing dental materials.

Referanser

1. Hauge IHR, Widmark A, Bruzell E. Bruk av røntgendiagnostikk blant norske tannlegar. Prosjektretta tilsyn etter ny forskrift om strålevern og bruk av stråling. StrålevernRapport 2009: 2. Østerås: Statens strålevern, 2009.
<http://www.nrpa.no/dav/Oed90efa8d.pdf> [access 2014 - 07 - 11]
2. Sliney DH. Ultraviolet radiation effects upon the eye: Problems of dosimetry. I: Dennis JA, Stather J, editors. *Radiat Prot Dosimetry*. 1997; 72 (3/4): 197 - 206.
3. Roberts JE. Ultraviolet radiation as a risk factor for cataract and macular degeneration. *Eye Contact Lens*. 2011; 37(4): 246 - 9.
4. Eaton JW. UV-mediated cataractogenesis: a radical perspective. *Doc Ophthalmol*. 1994 - 1995; 88 (3 - 4): 233 - 42.
5. Ainsbury EA, Bouffler SD, Dörr W, Graw J, Muirhead CR, Edwards AA, Cooper J. Radiation cataractogenesis: a review of recent studies. *Radiat Res*. 2009; 172(1): 1 - 9.
6. Okuno T. Thermal effect of visible light and infra-red radiation (i.r.-A, i.r.-B and i.r.-C) on the eye: a study of infra-red cataract based on a model. *Ann Occup Hyg*. 1994; 38 (4): 351 - 9.
7. Chao SC, Hu DN, Yang PY, Lin CY, Nien CW, Yang SF, Roberts JE. Ultraviolet-A irradiation upregulated urokinase-type plasminogen activator in pterygium fibroblasts through ERK and JNK pathways. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2013; 54 (2): 999 - 1007.
8. Wu J, Seregard S, Algvere PV. Photochemical damage of the retina. *Surv Ophthalmol*. 2006; 51(5): 461 - 81.
9. Wielgus AR, Roberts JE. Retinal photodamage by endogenous and xenobiotic agents. *Photochem Photobiol*. 2012; 88: 1320 - 45.
10. Klein BEK and Klein R. Lifestyle exposures and eye diseases in adults. *Am J Ophthalmol*. 2007; 144: 961 - 969.
11. Ambati J&Fowler BJ, Mechanisms of ARMD. *Neuron*. 75 (July) 2012: 26 - 39.
12. Roberts JE. Circadian rhythm and human health. 2010.
<http://www.photobiology.info/Roberts-CR.html> [access 2014 - 07 - 11]
13. Mainster MA. Violet and blue light blocking intraocular lenses: photoprotection versus

photoreception. *Br J Ophthalmol.* 2006; 90: 784 - 92.

14. Kleinman MH, Smith MD, Kurali E, Kleinpeter S, Jiang K, Zhang Y, Kennedy-Gabb SA, Lynch AM, Geddes CD. An evaluation of chemical photoreactivity and the relationship to phototoxicity. *Regul Toxicol Pharmacol.* 2010; 58 (2): 224 - 32.
15. Bruzell EM, Nilsen LTN. Trygg bruk av laser i tannpleien. I: *Aktuel Nordisk Odontologi 2014.* Holmstrup P, redaktør. København: Munksgaard Danmark, 2014, Årgang 39. 167 - 182.
16. Bruzell E, Johnsen B, Aalerud TN, Christensen T. Evaluation of eye protection filters for use with dental curing- and bleaching lamps. *J Occup Environ Hyg.* 2007; 4: 432 - 9.
17. Bruzell E, Johnsen B, Aalerud TN, Dahl JE, Christensen T. In vitro efficacy and adverse effects of light-assisted tooth bleaching. *Photochem Photobiol Sci.* 2009; 8: 377 - 85.
18. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), Guidelines on Limits of Exposure to Broad-Band Incoherent Optical Radiation (0.38 to 3m), *Health Phys.* 1997; 73: 539 - 54.
19. Guidelines on limits of exposure to incoherent visible and infrared radiation, *Health Phys.* 2013; 105 (1): 74 - 96. http://www.icnirp.de/documents/IcnirpVisible_Infrared2013.pdf [access 2014 - 07 - 11]
20. Price R, Shortall A, Palin W. Contemporary issues in light curing. *Oper Dent.* 2014; 39(1): 4 - 14.

Adresse: Ellen M. Bruzell, Nordisk Institutt for Odontologiske Materialer (NIOM), Oslo. E-post: ebr@niom.no

Artikkelen har gjennomgått ekstern faglig vurdering.