



Referentgranskad – accepterad för publicering
12 oktober 2014. Artikeln är översatt från norska
av Thomas Jacobsen, Tandläkartidningen.

Rätt skydd räddar ögonen från skador av hårdljus

Skyddsglasögon kan eliminera risken för ögonskador vid ljushärdning av dentala material, men det gäller att välja rätt. En mätning och utvärdering av 13 filter avsedda för ögonskydd har genomförts. Hälften av dessa bedömdes ha en tillfredsställande låg ljusgenomsläpplighet.

Hårdljuslampor är den strålningskälla som utgör största risken för ögonskador i tandvårdskliniker. Detta påstående kan motiveras av flera faktorer.

Användning av hårdljuslampor orsakar i de flesta kliniker större eller mindre exponering av personalen. Samtidigt finns kända samband mellan egenskaper hos det ljus som hårdljuslamporna sänder ut och näthinneskador, och kunskap om att det är praktiskt möjligt att uppnå dessa skadliga doser. Dessutom är användningen av ögonskydd inte optimal, då skydden inte alltid används eller har otillräcklig kvalitet. Endast cirka två tredjedelar av tandvårdspersonal använder ögonskydd [1].

Övriga strålningskällor i tandvårdskliniker kan bidra till en samlad, ohälsosam ögonexponering, som exempelvis arbetslampor, belysning monterad på luppglasögon, felaktigt eller otillräckligt skydd i samband med användning av laser eller oavsiktlig bestrålning från sterilisationsskåp. Hos kliniker med en omfattande användning av laser, och där lasersäkerheten är otillräcklig, finns en risk att personer skadas. Det finns dock ingen riskvärdering som väger samman den absoluta risken för olika ljuskällor i tandvårdskliniken.

NEGATIVA EFFEKTER AV LJUS PÅ ÖGONEN

Ögat är utformat för att transportera synligt ljus till näthinnan, men all annan optisk strålning, det vill säga ultraviolett (UV) och infraröd (IR), kommer med deras olika våglängder och fotonenergierna nå de främre vävnaderna i ögats hornhinna, främre kammare, lins och glaskropp. En förutsättning för alla skador är att strålningen absorberas och att ljusdosen är över en viss nivå. Absorption

kan uppstå i cellernas DNA, vattenmolekyler, proteiner och i många pigment som finns i olika delar av ögat, förutom i de fotoreceptorer som förmedlar synintryck till hjärnan.

UV-INDUCERADE ÖGONSKADOR

De skador som UV-strålning kan åstadkomma påverkar de yttre vävnaderna i ögat, såsom hornhinnan och linsen.

Detta kan resultera i snöblindhet (keratoconjunctivitis nivalis), som kan uppstå under vistelse i en miljö med stark reflektion från exempelvis snö, hav och sand [2]. Dock är det UVB (280–320 nanometer (nm)) och UVC (100–280 nm) som kan ge denna typ av akut skada, och sådan strålning avges inte från vanliga ljuskällor som används inom tandvården, med undantag för sterilförvaringsskåp med UV. En sådan apparat baseras på kortvågig UVC. Skador på hornhinnan är typiskt för oavsiktlig exponering för sådana källor. Mer långvågig UV (UVA) kan bidra till utvecklingen av grå starr (katarakt) [3], ett tillstånd som kännetecknas av grumling av ögats lins.

Katarakt kan uppstå efter kumulativ UV-exponering över tiden. Det diskuteras bland forskare hur stor betydelse UV har för uppkomsten och i vilka doser [4]. Det anses att andra typer av strålning, till exempel röntgen [5] och IR [6] kan bidra till kataraktutveckling, och det diskuteras även om synligt ljus (400–800 nm) kan vara en bidragande faktor. Orsaksmekanismen kan vara cellskador orsakade av kemiska radikaler (med eller utan syre) som produceras när blått ljus absorberas i olika ögonvävnad [3, 4]. Medan UVA kan orsaka både direkta skador på till exempel DNA och indirekta skador



Författare:

Ellen M Bruzell (bild), dr scient, seniorforsker, NIOM – Nordiska institutet för odontologiska material, Oslo, Norge. E-post: ebr@niom.no
Terje Christensen, dr philos, forsker, Statens strålevern, Østerås, Norge.
Bjørn Johnsen, siv ing, forsker, Statens strålevern, Østerås, Norge.

via fotosensibilisering (absorption i exempelvis pigment med efterföljande reaktion och bildandet av syre- och andra radikaler som kan skada celler och vävnader), orsakar exponering för synligt ljus bara fotosensibilisering. Laboratiestudier indikerar att UVA kan spela en roll i utvecklingen av pterygium ("surfers's eye"), ett tillstånd där fibrös vävnad växer över hornhinnan [7].

Vissa effekter som vanligen förknippas med UV-exponering kan förekomma vid längre våglängder än 400 nm (det så kallade UV-aktionspektrat sträcker sig in i synliga området), eftersom dessa tekniskt definierade gränser för olika typer av strålning är satta på en mer fysisk grund än av hänsyn till biologiska reaktioner. Det är värt att notera dessa gradvisa övergångar mellan reaktionsmekanismer orsakade av UV- eller synligt ljus, eftersom vissa hårdljuslampor utöver ett vanligt förekommande maximum vid cirka 470 nm även avger ett strålningsmaximum vid cirka 400 nm (övergången mellan UV och synligt, se figur II). De tidigare använda halogen- och plasmabågellamporna hade ofta en högre UV-komponent än de flesta av de i dag använda LED-lamporna.

BLÅLJUSINDUCERADE ÖGONSKADOR

Om ögonen exponeras för blått ljus (den synliga delen av spektrat) över en viss dos, kan skador uppkomma på fotoreceptorerna i ögats näthinna (retina). Det kan ske efter att ljuset har absorberats i visuella pigment. Alternativt kan absorption och skada inträffa i det retinala pigmentepitelet. Dessa skador är av fotokemiska arter. Ett välkänt exempel är skador på gula fläcken (macula), där synskärpan sitter, efter observation av solen under solförmörkelse (solar retinitis) [8].

Fotokemisk skada kan uppkomma akut eller som ett resultat av påverkan över tiden (kumulativ). Både teoretiska och laboratiestudier tyder på att oxidativa mekanismer är involverade i utvecklingen av skador på näthinna som följd av blåljusexponering.

Syre- och andra reaktiva radikaler kan bildas som på olika sätt kan orsaka cell- och vävnadsskada. Effekten av radikalerna kan motverkas av antioxidanter, som kan vara närvarande i olika mängder [8, 9]. Med åldern kommer produktionen av och mängden ljusabsorberande visuella pigment att öka, och därmed ökar sannolikheten för bildandet av reaktiva syreradikaler (ROS). Detta sammanfaller med att lagret av antioxidanter minskar. Dessa faktorer talar för att blått ljus bidrar till utvecklingen av åldersrelaterad makuladegeneration (AMD) [9].

Epidemiologiska studier är inte lika otvetydiga i fråga om förhållandet mellan exponering för optisk strålning och AMD, vilket kan bero på att det är svårt att kontrollera exponeringsförhållanden och att skilja mellan effekterna av UV och synligt ljus, såsom solljus. Det finns påvisat ett svagt samband mellan blåljusexponering, men inte UV-exponering, och utveckling av AMD [10] i epidemiologiska studier. I en nyligen publicerad översiktsartikel bedömdes inte optisk strålning bidra till utvecklingen av AMD [11], medan det i en annan artikel från samma år registreras grundliga argument för sambandet [9].

EFFEKTER AV DYGNSTRYTMEN

Alla artificiella ljuskällor kan bidra till att påverka dygnsrytmen hos människor. När synligt ljus i våglängdsområdet 460–500 nm absorberas i näthinna av melanopsin i de främre gangliocellerna, skickas signaler till den del av hjärnan (hypotalamus) som styr hormonella förändringar i olika körtlar, vilket leder till dygnsberoende, fysiologiska variationer. För att bibehålla dygnsrytmen är frånvaron av ljus på natten nödvändig. Då bildas bland annat sömnhormonet melatonin [12]. Det finns ingen anledning att tro att exponering för ljus från hårdljuslampor dagtid kommer att påverka dygnsrytmen. Vid kvälls- eller nattarbete, är det dock värt att notera att den totala exponeringen för ljus i tandvårdskliniken kan vara hög, och att det kan leda till mindre produktion av melatonin.

”Endast cirka två tredjedelar av tandvårdspersonal använder ögonskydd.”



Förklaring av uttryck

Integrerande sfär:

En optisk komponent i ljusmätningstrutning som ser ut som en ihållig kula. Ytan på insidan är tillverkad av en reflekterande beläggning som gör att ljusfältet på sfären jämnas ut. En ljussensor är placerad inuti sfären och mäter det utjämnade ljuset. Integrerande sfärer har ofta en större ingångsöppning än en platt sensor, vilket kan vara en fördel när ljusfältet är stort och ojämnt.

Irradians:

Effekt av fotoner från en ljuskälla per ytenhet på en plan yta som träffas av fotoner (W/m², för hårdljuslampor vanligtvis mätt i milliwatt per kvadratcentimeter (mW/cm²). Mer populära benämningar är ljusstyrka eller intensitet.

Isotropisk spridning:

Samma ljusemission i alla riktningar från alla punkter på en yta.

Ljusflöde: Effekt (watt) av fotoner som emitteras från ljuskällan i alla riktningar. Måttenhet: Relativ

mängd ljus (enhetslös/nanometer (nm)).

Optisk strålning:

Ultraviolett (UV), synlig och infraröd (IR) strålning representerar elektromagnetisk strålning i våglängdsområdet 100 nm–cirka 0,5 mm. UV- och IR-strålning är ofta uppdelade i mindre våglängdsintervaller, som kallas UVC, UVB och UVA respektive IRA, IRB och IRC, eller nära och fjärr IR.

Polykromatisk: Flera våglängder.

Radians: Effekt av fotoner

från en ljuskälla per ytenhet och rymdvinkel, sett från ytan av en hypotetisk kula (W/m² × sr).

Reflektans: Den fraktion av inkommande ljus som reflekteras.

Retina: Näthinna.

Rymdvinkel: Ett mått på storleken på ljuskägla från en lampa. Den uttrycks som arealen på kulans yta som kägla sprids över, delat med kvadraten på kulans radie (man tänker sig att lampan är i centrum av en tänkt kula). Enhet: steradian (sr).

Spektral transmittans:

Ljustransmission genom ett filter för varje våglängd av ljus.

Viktning: Används inom matematiken. I samband med spektra blir varje punkt med ett värde i ett intervall i en data-serie multiplicerat med motsvarande punkt i en annan data-serie. Produktspektrat visar särskilda egenskaper, exempelvis att blått ljus ger mest skada på näthinna vid 440 nm.



FALL SOM KRÄVER UPPMÄRKSAMHET

Behandlingssituationen

Vanligtvis är det inte nödvändigt att utrusta patienten med ljusskyddande glasögon under behandlingen, men assisterande personal eller anhöriga som sitter nära patienten i en sådan vinkel att deras ögon kan träffas av det reflekterande ljuset bör skyddas. Risken för oavsiktlig exponering för ljus ökar när framtänder behandlas.

Artificiell lins

Patienter och behandlare med ögonsjukdomar eller som har artificiella linser (till exempel efter en kataraktoperation) kan löpa ökad risk för ögonskada när de utsätts för UV- och synligt ljus. Artificiella linser har oftast UV-skydd och en del har även skydd mot delar av det synliga ljuset, men våglängder från en LED-härdljuslampa passerar lättare genom dessa än genom den normala linsen hos medelålders personer [13].

Fotosensibilisering av läkemedel och ljuskänslighet

Ett antal läkemedel kan absorbera UV- och synligt ljus och ge upphov till fototoxiska och fotoimmunologiska reaktioner. Ljus kan reagera med ljusabsorberande medel som finns i ögon och hud. Munhålan ger dessutom ljuset tillgång till blodbanan genom väl vaskulariserade vävnader och tänder, som också har förmågan att ackumulera vissa läkemedel.

Vanligt använda exempel är vissa NSAID (non steroidala anti-inflammatoriska läkemedel), antidepressiva medel, läkemedel för att behandla psoriasis och antibiotika (tetracykliner) [14]. Ett receptfritt naturläkemedel med fotosensibiliserande effekt är johannesört (med den aktiva substansen hypericin) [9]. Detta medel kan ackumuleras i näthinnan. Förutsättningen för att läke- eller livsmedel kan utöva fototoxisk effekt i näthinnan, är att de kan passera blod-retinabarriären, har förmågan att absorbera ljus och kan binda till biomolekyler i näthinnan. Vissa nanopartiklar, som fullerol, har dessa egenskaper [9]. Sjukdomar som exempelvis porfyri och urtikaria solaris samt fotodynamisk behandling av exempelvis hudcancer och psoriasisbehandling ökar ljuskänsligheten.

Strålning från andra källor

Optisk strålning från andra källor i tandvårdskliniken kan i princip ge liknande ögonskador som från härdljuslampor, men i mindre utsträckning, beroende på faktorer som våglängd, irradians och spridningen av ljusstrålen. Lasrar avger optisk strålning i en samlad, mycket tunn stråle som ofta ger mycket hög irradians. Ljuset från en laser kan bestå av en eller några få våglängder från hela den optiska delen av spektrumet, vilket ger helt andra fysikaliska och biologiska effekter i ögat, och därmed andra ögonskador än dem som beror på exponering från härdljuslampor. Detta tema diskuteras i andra publikationer [15]. Som en intressant jämförelse av mängden ljus som når in i ögat från olika källor, kan

det nämnas att irradiansen för härdljuslampor kan vara 1 000–10 000 gånger högre än solljusirradiansen på jordytan (Oslo i juli) inom vissa våglängdsområden, medan en laser kan ge en irradians som är mångdubbelt högre än den från en härdljuslampa.

Lyckligtvis kan risken för ögonskada lätt reduceras med olika motåtgärder. För att hålla ljusledaren på plats under härdning, är det en fördel att titta på behandlingsområdet. Risken kan minskas genom att minska onödigt hög ljusstyrka (irradians) och onödigt lång exponeringstid, eller genom att välja teknik som förhindrar ljus utanför behandlingsområdet. Icke desto mindre är det nödvändigt att använda genomskinliga, men ändå ljusskyddande, glasögon eller filter. Dessa kan vara utformade på olika sätt, till exempel fast monterade plattor på härdningslampa, handhållna filterplattor eller plattor som täcker arbetsområdet eller glasögon. Resultat från en undersökning av ögonskyddande filter [16] visade att bara hälften var av tillfredsställande kvalitet. Syftet med vår studie var att mäta och bedöma graden av skydd för filter i kombination med lampor som används i dagens tandvårdskliniker. Ett annat mål med denna studie var att avgöra om en större andel av de ögonskyddande filter som säljs på marknaden var av tillräckligt bra kvalitet, jämfört med produkter i den tidigare studien [16], som genomfördes under 2006.

MATERIAL OCH METODER

Åtta av de 13 filtren som utvärderades inköptes oktober–november 2011 från skandinaviska återförsäljare. Tre skyddsplattor för montering på härdljuslampor valdes slumpmässigt ut bland NIOM:s urval av 15 sådana lampor som förvärvats under perioden 2008–2011. Transmissionsmätning av Univet och MO Wing gjordes separat (tabell 1).

Mätning av filter

Mätning av produkternas filteregenskaper i våglängdsområdet 350–800 nm (spektral transmittans) utfördes vid Statens strålevernsoptiske laboratorium, Østerås, Norge. Tolv av filtren bestrålades polykromatiskt med halogenhärdljuslampan VCL Complete (SDS Kerr, Danbury, CT, USA) som ljuskälla. Mätning av ljusflöde med och utan filter (transmittans) finns tidigare beskrivet [16]. Spektralradiometerns mätosäkerhet var inom ± 5 procent. Instrumentet kalibrerades med spårbarhet till National Institute of Standards and Technology (NIST), Gaithersburg, MD, USA, via Sveriges Tekniska Forskningsinstitut (SP), Borås. Filtret ”MO Wing” bestrålades polykromatiskt med en 100 W xenonlampa (modell 68805, SN 2511, Oriol Instruments, Stratford, CT, USA), och de uppmätta värdena registrerades till 250–800 nm. Avståndet mellan lampan och filtret var cirka 34 cm. Den integrerande sfär som fångade ljusflödet hölls så nära filtret som möjligt (3 mm). Irradianskalibreringen är spårbar till Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Braunschweig, Tyskland av Physikalisch-Meteorologisches Obser-

Tabell 1. Produktinformation om utvärderade ögonskydd

Produktnamn	Producent	Leverantör i Sverige	Typ av ögonskydd	Kvalitets- eller testmärkning av produkt
[Demi Plus]	sds Kerr, Bioggio, Schweiz		Platta på härdljuslampa	Nej
[Dentmate LEDEX]	Dentmate, New Taipei City, Taiwan		Platta på härdljuslampa	Nej
[3M ESPE Elipar s10]	3M Dental Products, St. Paul, MN, USA		Platta på härdljuslampa	Nej
ML filter 500	Multilens AB, Mölnlycke, Sverige		Flip-on för glasögon	Ja (förpackning)
MO Wing	MeridentOptergo AB, Mölnlycke, Sverige		Vinklad platta	Ja (produkt)
Optitect-CL UV- + kaltlichtbrille	Hager & Werken GmbH&Co, Duisburg, Tyskland	Dab Dental	Glasögon	Nej
Pinnacle	Kerr Total Care, KaVo Kerr Group, Washington DC, USA		Utbytbar filter till medföljande infattning	Ja (förpackning och bruksanvisning)
Polodent	Polodent instruments, Polo MB, Oisterwijk, Nederländerna	Cenger Scandinavia	Glasögon	Ja (produkt)
UltraTect	Uvex Sperian ompacketerad av Ultradent Inc, South Jordan, UT, USA	Åhren Dental Consult	Glasögon	Ja (produkt)
Univet 519 UV 525	Univet S.r.l., Rezzato, Italien		Glasögon	Ja (produkt)
Uvex superfit	Uvex Arbeitsschutz GmbH, Fürth, Tyskland	Forssbergs Dental	Glasögon	Ja (produkt, förpackning, bruksanvisning inkl transmissionspektrum)
Vision sport	Vision, Cherry Hill, NJ, USA		Glasögon	Ja (produkt)
Zoom! (Leverantörsnamn: ZM2010)	Discus Dental LLC, Culver City, CA, USA	Unident	Glasögon	Ja (produkt, förpackning)

vatorium Davos – World Radiation Center (PMODE-WRC), Davos, Schweiz. Transmittansspektra i figur I erhålls genom förhållandet mellan spektrum från ljuskällan med ett filter och ett referensspektrum från samma källa utan filter.

Mätning av härdljuslampor

Spektral karakterisering av ett urval av härdljuslampor med varierande irradians gjordes under 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 (standardläge) (Ultradent, South Jordan, UT, USA), SmartLite IQ2 (Dentsply, York, PA, USA), FlashSoft och FlashMax med eller utan avtagbara hylsor (CMS Dental, Köpenhamn, Danmark) och LEDemetron II med stora och små ljusledare (SDS Kerr).

Metoden är tidigare beskriven [17]. Spektralradiometern som användes kalibrerades mot en standardlampa och gav mätvärden uttryckta som spektral irradians (mW/cm²/nm). Irradiansen på ljuskällans yta (exitans) kunde därmed beräknas. Den varierade mellan 635 mW/cm² och 4 600 mW/cm² (± 7 procent). Radians i mW/cm² × sr beräknades genom att mäta exitansen till ljuset från lamporna och dividera med rymdvinkeln (i steradian, sr) på ljuskäglan. Motsvarande plana halvvinklar i lampornas utsända ljuskägla varierade mellan 0,31 och 0,80 radianer (± 21 procent).

Beräkning av den maximala ”tillåtna” exponeringstiden, t_{max} , för härdljuslampor (utan skyddsfiler)

- Direkt, blått ljus från lampan till operatörens ögon.
Dosgränsen på 100 J/cm² × sr per dag, som är fastställd [18, 19] för akut och kronisk exponering av ögon (retina), gäller för artificiella ljuskällor som arbetstagare och allmänheten utsätts för:

(Ekvation 1)

$$t_{max, direkt} = (100 \text{ J/cm}^2 \times \text{sr}) / L_{bl\ddot{a}tt}$$

där $L_{bl\ddot{a}tt}$ är radiansen från ljuskällan, L_{λ} , (390 < λ < 700 nm) multiplicerad med en viktfunktion som tar hänsyn till skador på ögats retina ”blue light retinal hazard function”, $B(\lambda)$ [17–19].

- Reflekterat, blått ljus från patienternas tänder till lampoperatörens ögon.

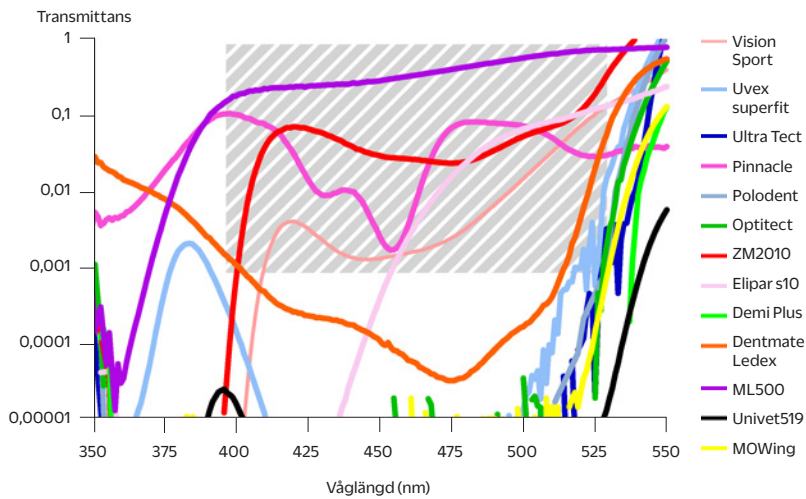
I beräkningen antas isotrop spridning från tandytan och en reflektion på 30 procent, enligt tidigare utvärderingar [17]. Exponeringsdosgränsen ger:

(Ekvation 2)

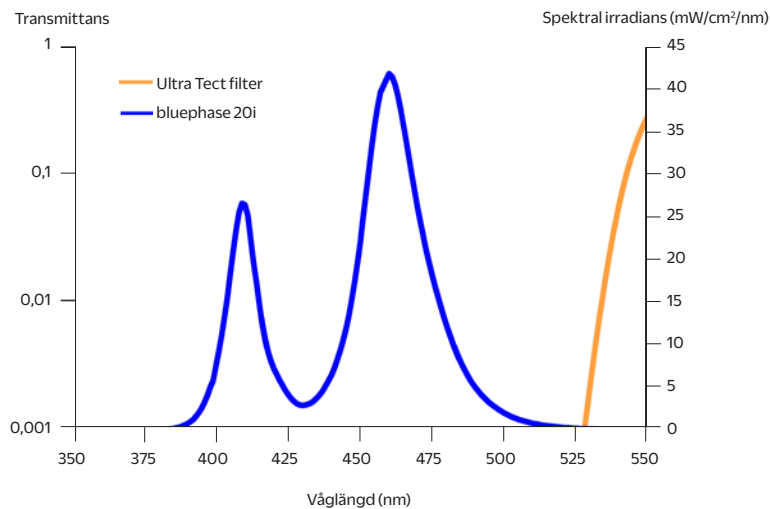
$$t_{max, reflekterat} = (100 \text{ J/cm}^2 \times \text{sr}) / L_{tand}$$

där $L_{tand} = \rho \times L_{bl\ddot{a}tt} \times \sin^2\theta$, ρ är reflektans och θ är den halva vinkeln som ljuskällan spänner över





Figur I. Ljustransmission (genomsläpplighet) av ögonskyddande filter (0,001 motsvarar 0,1 procent). Demi Plus, Dentmate LEDEX och 3M ESPE Elipar S10 är namnen på hårdljuslampor med de aktuella, monterade filtren. Transmittansspektra erhålls genom förhållandet mellan spektrum från en ljuskälla med ett filter och ett referensspektrum från samma källa utan filter.



Figur II. Exempel på ett tillräckligt skydd från ett filter, Ultratect, med transmittans mindre än 0,1 procent i våglängdsområdet 390–525 nm. Transmittansspektrat från filtret överlappar inte med emissionsspektrum för hårdljuslampan Bluephase20i.

om den observeras från tanden i riktning ut av munnen.

Beräkning av längsta «tillåtna» exponeringstid, t_{max} , med skyddsfiltret

1. Utvärdering med hög säkerhetsmarginal (baserad på skyddsfiltrets maximala transmittans). t_{max} -värdet med filtret placerat framför den aktuella lampan beräknades enligt följande:

a) direkt bestrålning:

$$t_{max, direkt, filter} = t_{max, direkt} / T_{max}$$

där T_{max} var det högsta transmittansvärdet för det aktuella filtret inom våglängdsområdet 390–525 nm.

b) reflekterad bestrålning:

$$t_{max, reflekterat, filter} = t_{max, reflekterat} / T_{max}$$

2. Utvärdering med låg säkerhetsmarginal (viktning av filterspektrum med lampspektrum).

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

där $E_{blått, lampa}(\lambda)$ är blåljusviktad irradians av lampan vid en bestämd våglängd, $T_{filter}(\lambda)$ är transmittansen vid en bestämd våglängd och $E_{f, b}$ är filterviktad, blåljusviktad irradians. För att er hålla filterviktad, blåljusviktad irradians divideras blåljusviktad irradians med lampans rymdvinkel. Värderna för blåljusviktad irradians sätts in i ekvationerna (1) och (2) för att hitta t_{max} -värdena för respektive, direkt och reflekterad strålning.

RESULTAT

Transmittans i skyddsfiltret

Andelen ljus som släpps igenom skyddsfiltret (transmittans uttryckt som procent ljusgenomsläpplighet jämfört med ljuset från lampan utan filter) varierade mellan cirka 0,001 procent (detektionsgrän-

Tabell 2. "Högsta tillåtna exponering" direkt och reflekterad strålning från hårdljuslampor utan ögonskydd

	Elipar FreeLight 2	Demi Plus	Bluephase 20i	Valo*	Bluephase 16i	Smart-Lite iQ2	FlashSoft		FlashMax		LEDemetron II	
							m/hylsa	u/hylsa	m/hylsa	u/hylsa	liten ljus-ledare	stor ljus-ledare
Irradians, mW/cm ²	966	1579	1560	1003	2159	743	1408	2213	3860	4600	1376	635
Blåljusviktad irradians, mW/cm ² /sr	608	2025	868	656	1289	424	1235	1113	3148	2122	998	488
Plan vinkel, rad	0,7	0,5	0,6	0,3	0,7	0,6	0,5	0,7	0,6	0,8	0,6	0,6
t_{max} direkt bestrålning, minuter	2,7	0,8	1,9	2,5	1,3	3,9	1,4	1,5	0,5	0,8	1,7	3,4
t_{max} reflekterande bestrålning, minuter	22,4	13,2	17,8	89,9	10,8	39,3	17,8	11,2	5,5	5,1	16,4	35,3

*Värderna för Valo gäller vid "standard mode". sr: steradian; rad: radian

sen) och 73 procent i våglängdsområdet 390–525 nm (figur I).

Exponering från hårdljuslampor utanskyddsfilter

Högsta tillåtna exponeringstid för direkt blåljusbestrålning, t_{max} , från utvalda LED-härdljuslampor med olika irradians var i genomsnitt 1,9 minuter (intervall: 0,5–3,9 minuter). Motsvarande t_{max} för reflekterad strålning var 23,7 minuter (intervall: 5,1–89,9 minuter) (tabell 2).

Risikvärdering med hög säkerhetsmarginal

t_{max} som är tillämplig på direkt och reflekterad strålning genom filter från en hårdljuslampa med irradians i storleksordningen 4 000 mW/cm², delades in i tre grupper beroende på lämplighet som blåljusskydd: utmärkt, måttligt och otillräckligt skydd (tabell 3). Beräkningarna gjordes på grundval av det högsta transmittansvärdet i det relevanta våglängdsområdet. För att säkerställa ögonskydd under en 8-timmars arbetsdag måste filter ha en transmittans på mindre än 0,1 procent i våglängdsområdet 390 till 525 nm (området utanför den skuggade grå rektangeln i figur I). Detta krav uppfylldes med 7 av de 13 filtren (se exempel, figur II).

Risikvärdering med låg säkerhetsmarginal

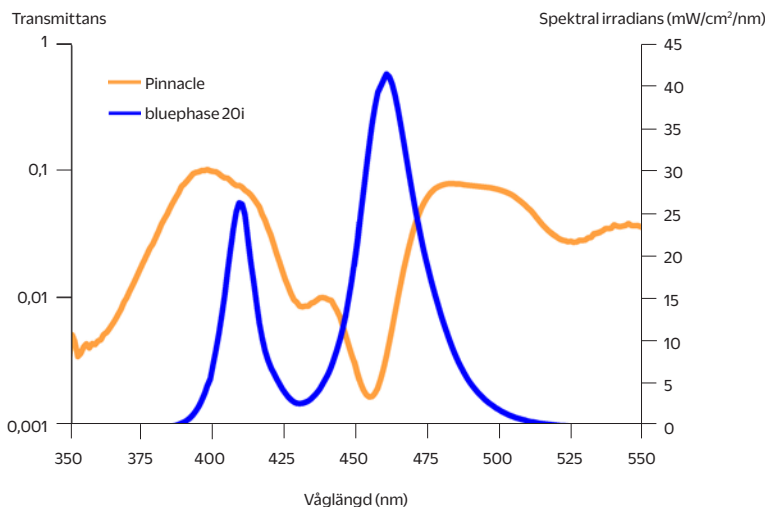
Beräkning av t_{max} på grundval av en kombination av specifika hårdljuslampor och filter visade att 3 av de 13 filtren skyddar kortare tid än 8 timmar. Detta gäller om de bestrålas antingen direkt eller med reflekterat ljus från hårdljuslampor med irradians i storleksordningen 1 000 mW/cm² eller högre (tabell 4, se exempel figur III).

DISKUSSION

Beräkningsmetoder

Det höga värdet på den maximalt tillåtna exponeringstiden, t_{max} , som framkom vid reflekterade strålningen från lampan Valo (tabell 2) orsakades av den mindre (plan)vinkeln på ljuskägglan hos denna lampa jämfört med de andra lamporna (se förklaring av L_{tand} i ekvation 2). Tre egenskaper hos lampornas utstrålning påverkade beräkningen av t_{max} : irradians, rymdvinkel och spektrum. Exempelvis var t_{max} lägre när filter ML500 och ZM2010 bestrålades med DemiPlus än med Bluephase 20i, trots att lampornas irradians var ungefär densamma. Skillnaden låg i att storleken på ljuskägglan som DemiPlus skickade ut var ungefär hälften så stor som för Bluephase 20i (tabell 4).

De högre t_{max} -värdena (tabell 4), vilka erhöles med filter Pinnacle genom bestrålning med DemiPlus relativt Bluephase 20i, kan förklaras av formen hos transmissionsspektrum av Pinnacle i förhållande till utstrålning (emissions-) spektra för lamporna: Vid emissionsmaximum till DemiPlus (452 nm) är filtertransmittansen lägre (mindre ljus tränger genom filtret) än emissionsmaximum för Bluephase 20i (460 nm) (figur I). Den höga irradiansen från Flashmax gav generellt korta t_{max} -värden. Dess-



Figur III. Exempel på ett otillräckligt filter, Pinnacle, som skyddar mindre än 8 timmar från direkt eller reflekterande ljus från hårdljuslampor med irradians ≥ 1000 mW/cm². Transmittansspektrat från filtret överlappar med emissionsspektrum för hårdljuslampan Bluephase20i.

Tabell 3. Skydd från filter angivet som "maximal tillåten exponeringstid" t_{max} , med hög säkerhetsmarginal. Irradians $\geq 3\ 000$ mW/cm² från en hårdljuslampa utgör grund för beräkningen.

Utmärkt skydd	Transmittans % (maximum)	t_{max} , minst (timmar)	
		Reflekterande	Direkt
DemiPlus (filter på lampa)	0,0001	Mer än 8 timmar (21–70 000 timmar) Univet: mer än -17 timmar vid 1 000 mW/cm ²	Uvex superfit: 2,2 timmar. Övriga mer än 8 timmar (24–7 000 timmar)
OptitectCL	0,0020		
Polodent	0,0220		
UltraTect	0,0400		
UvexSuperfit*	0,1000		
MO wing	0,034		
Univet519	0,018		
Måttligt skydd			
DentmateLedex (filter på lampa)	2	4,1	0,4
Ottillräckligt skydd			
VisionSport	11	0,9	0,08
Elipar s10 (filter på lampa)	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 genomsnitt för våglängderna 519–525 nm, även om vissa värden inom detta område är högre (maximum: 0,4 %) (se figur I). Måttligt skydd: Kan användas till lampor med irradians lägre än cirka 3 000 mW/cm².

"För att säkerställa ögonskydd under en 8-timmars arbetsdag måste filter ha en transmittans på mindre än 0,1 procent i våglängdsområdet 390 till 525 nm."



Tabell 4. Skydd av filter satt till "maximal exponering", t_{max} , med låg säkerhetsmarginal. Filtren skyddar kortare än 8 timmar efter exponering av reflekterad och direkt strålning från åtminstone en av hårdljuslamporna. Lampor med olika irradians och/eller ljuskäglor valdes för att visa relationen med t_{max} . Siffror inom parentes, $t_{max} > 8$ h, ingår i jämförande syfte.

t_{max} (timer)		Hårdljuslampor (irradians, mW/cm ² ; rymdvinkel, sr)				
Filter		Elipar Freelight 2 (966; 1,3)	Demi Plus (1579; 0,7)	Bluephase20i (1560; 1,1)	Bluephase16i (2159; 1,3)	FlashMax * (3860; 0,9)
ML500	Reflekterande	1,20	0,70	0,90	0,50	0,30
	Direkt	0,10	0,04	0,10	0,06	0,03
ZM2010	Reflekterande	(12,40)	6,70	≈ 8	4,90	3,10
	Direkt	1,50	0,40	0,90	0,60	0,30
Pinnacle	Reflekterande	(33,22)	(20,6)	(11,2)	(15,4)	5,0
	Direkt	4,1	1,3	1,2	1,8	0,5

* Med avtagbar hylsa. Irradiansen är högre utan den.

utom skickade lampan ut en smal ljuskägla (liten rymdvinkel), vilken också bidrog till korta t_{max} . DemiPlus skickade ut en ännu smalare ljuskägla än Flashmax, men eftersom irradiansen inte var så hög som för Flashmax var inte t_{max} -värdena lika korta (tabell 4). En lampa som både avger mycket ljus (hög irradians) och distribuerar ljuset i en smal ljuskägla kommer att kunna bryta gränsvärdena för blått ljus till ögat på kort tid.

De bästa filtren hade så låga transmittansvärden (tabell 3) att de kommer att skydda mot högre lampirradians än de som anges i tabell 2. De kommer också att skydda väl även om lampornas utstrålningsmaximum skulle sammanfalla med de våglängdsområden där dessa goda filter släpper igenom mest ljus (området utanför den skuggade gra rektangeln i figur I). Däremot kommer de medelgoda och sämsta filtren att släppa igenom för mycket ljus från lamporna som användes i denna studie och det finns lite säkerhetsmarginal om man byter till en som är lite starkare eller avger ljus med en något annorlunda sammansättning av våglängder. Vissa LED-lampor, exempelvis Bluephase 20i (figur II) och Valo som användes i denna studie, har två utstrålningsmax varav en ligger nära UV-området (< 410 nm). Filtret måste täcka bra i båda våglängdsområdena.

Riskvärdering

Högsta tillåtna exponeringstider (tabell 3) ger viss säkerhetsmarginal eftersom de baseras på en teoretisk «worst case»-kombination av ett visst filter och en lampa mellan 3 000 och 4 000 mW/cm². Den mer exakta beräkningsmetoden av exponeringstider (tabell 4) gäller för kombinationen av kända ljus och kända filter. Den kommer inte att gälla om du byter ut lampan, eller om det finns förändringar i lampornas strålning. Sådana förändringar kan upp-

träda som ett resultat av elektriska eller mekaniska fel eller yttre skador, såsom sprickor i ljusledaren. Likaledes om det uppstår skador på ögonskydd/filter, till exempel vid rengöring med olämpligt tvättmedel, gäller inte resultaten som beräknats med låg säkerhetsmarginal (tabell 4).

Den totala tiden då ljushårdning används på kliniken varierar kraftigt, och för vissa endast några minuter per dag. Det finns dock anledning att tro att denna siffra kan vara betydligt högre vid vissa typer av behandling, som till exempel vid amalgamsanering, andra fall där det utförs flera fyllningar i en session eller i samband med ortodontisk behandling och fastsättning av brackets. Inom ortodontin kan den totala belysningstiden nå 2,5 timmar/dag per operatör förutsatt att varje bracket belyses under 20 sekunder och 14 patienter behandlas per dag. Den dagliga belysningstiden bland norska tandläkare har rapporterats vara upp till 45 minuter [1]. Alla filter i kategorin "otillräckligt skydd" skyddar under mindre än 1 h, så om den dagliga belysningstiden uppskattas till cirka 1 timme, finns det en mycket liten säkerhetsmarginal. Det är med viss försiktighet man ska hävda att ett filter kan användas med lampor som är svagare än ett visst värde, till exempel 3 000 mW/cm² (tabell 3). Problemet är att irradiansvärdet inte alltid är känt, och att det kan, såsom beskrivits ovan, förändras under användning av lampan. Dessutom kommer reflektionen att öka när ljuset träffar metallinstrument och andra starkt reflekterande ytor.

Gränsvärdena är baserade på en 8-timmars arbetsdag, och säger ingenting om upprepad exponering. Det är känt att ljusinducerad skada på näthinnan kan uppkomma efter kumulativa bestrålningar över tid där varje bestrålning inte nödvändigtvis överstiger gränsen för akut bestrålning [8]. För en stor del av tandvårdspersonalen är ljushårdning en

daglig verksamhet som kan leda till en samlad hög exponering under många år.

Allmänna synpunkter på ögonskydd

När man ska välja ögonskydd är det viktigt att ha information om både filter- och lampspektrum. I praktiken är denna information inte lätt att hitta. Av de 13 filterprodukter som testades, hade endast UvexSuperfit bifogat transmissionsspektrum. Ögonskyddet ”ML500”, vilket var ett av de sämsta filtren i testet, undersöktes eftersom det användes i en tandvårdsklinik i Sverige. Det är sannolikt att detta filter har sålts av misstag, och att det var något annat av försäljarens filter som skulle användas vid ljushärdning. Detta exempel visar hur viktigt det är att försäljarna har kunskap om användningsområdet för olika ögonskydd och att man inte bara slumpmässigt väljer orangefilter.

Ytan hos fasta plattor på lampors ljusledare är relativt liten och det är svårt att placera plattan så att reflekterande ljus inte passerar förbi och träffar operatörens eller assistentens ögon. Således är dessa plattor ett falskt skydd. I studien [16] fann vi att kvaliteten var tillräcklig hos ett av tre löstagbara filterplattor. I den aktuella undersökningen var också en av tre sådana filterplattor av mycket god kvalitet, men de har ringa värde när storleken är för liten och det är svårt att placera den på rätt sätt. Handhållna plattor kommer att ge skydd om de hålls så att ljuset hindras från att nå ögonen hos både operatör och assistent. Bästa skyddet ger glasögon eller visir, eventuellt också plattor som är stora nog att täcka både patientens mun och ljusledaren. Många hävdar att det är svårt att kombinera ögonskydd mot blått ljus med luppglasögon. Kombination praktiserar på olika sätt, från att inte använda lappar under härdning till att växla mellan dessa och ögonskydd. En mer kreativ lösning är att fästa en snodd i luppglasögonen så att de kan sänkas och byta plats med filterglasögon som sänks från pannan till näsroten. Det rekommenderas inte att vrida bort huvudet under belysningen, eftersom den hand som håller lampan lätt flyttas så att ljuset kommer ur position och härdningen blir ofullständig [20]. Det finns också en risk för upphettning av mjukvävnad när man inte har full kontroll över placeringen av härdljuslampan.

Användningen av luppglasögon kommer inte nödvändigtvis att öka risken för ögonskador. Ljusmängden till ögat kommer att öka, men den kommer att spridas över ett större område av näthinnan (på grund av förstoringseffekten), så att ljusintensiteten (irradians som når retina) inte blir större. Å andra sidan kan automatiska ögonrörelser minska på grund av mer stirrande med luppglasögon, vilket i sin tur kan orsaka att mängden ljus till näthinnan ökar. Automatiska ögonrörelser kommer annars att fördela ljusenergin över ett större område av näthinnan och därigenom skydda denna, eftersom varje punkt får en lägre total ljusdos.

KONKLUSION

- Andelen lämpliga ögonskyddande produkter på marknaden, för att användas i samband med ljushärdning av dentala material, har inte förändrats sedan den förra undersökningen 2006.
- Användning av ögonskydd i form av filterglasögon eller plattor är enkla åtgärder som kan eliminera eller kraftigt minska risken för eventuella ögonskador.
- Risken för ögonskador utan användning av skydd är avhängigt lampornas fysikaliska egenskaper.
- Om man använder en lägre säkerhetsmarginal vid beräkning av ”maximalt tillåten exponeringstid”, är 10 av de 13 produkter som testades tillräckliga, men denna beräkning kräver kända kombinationer av spektra hos skyddsfilter och härdljuslampor.
- Blått ljus och UV-strålning kan orsaka akuta ögonskador. Laboratorie- och epidemiologiska studier antyder att blått ljus kan bidra till både kroniska ögonsjukdomar, såsom katarakt, och åldersrelaterad makuladegeneration.

TACK

Studien har fått finansiellt stöd av Kunskapscentrum för dentala material, Socialstyrelsen i Sverige och Helsedirektoratet i Norge. Författarna vill tacka Tommy Nakken Aalerud (tidigare anställd) och Thomas B Aleksandersen, båda vid Statens strålevern, Østerås, Norge, för mätningen av skyddsfilter. Vi tackar också ProVista och MeridentOptergo AB som lät NIOM inkludera testresultat i denna undersökning.

ENGLISH SUMMARY

Appropriate eye protection filters prevent ocular damage from curing light – online version

Ellen M Bruzell, Terje Christensen and Bjørn Johnsen Tandläkartidningen 2014; 106 (15): 60–68

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 ma-

cular 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. ●

Referenser

- Hauge IHR, Widmark A, Bruzell E. Bruk av røntgen-diagnostikk 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]
- Sliney DH. Ultraviolet radiation effects upon the eye: Problems of dosimetry. I: Dennis JA, Stather J, redaktører. Radiat Prot Dosimetry 1997; 72 (3/4): 197–206.
- Roberts JE. Ultraviolet radiation as a risk factor for cataract and macular degeneration. Eye Contact Lens 2011; 37(4): 246–9.
- Eaton JW. UV-mediated cataractogenesis: a radical perspective. Doc Ophthalmol 1994–1995; 88 (3-4): 233–42.
- 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.
- 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.
- 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.
- Wu J, Seregard S, Algvere PV. Photochemical damage of the retina. Surv Ophthalmol 2006; 51(5): 461–81.
- Wielgus AR, Roberts JE. Retinal photodamage by endogenous and xenobiotic agents. Photochem Photobiol 2012; 88: 1320–45.
- Klein BEK and Klein R. Lifestyle exposures and eye diseases in adults. Am J Ophthalmol 2007; 144: 961–9.
- Ambati J, Fowler BJ. Mechanisms of ARMD. Neuron, 75 (July) 2012: 26–39.
- Roberts JE. Circadian rhythm and human health. 2010. <http://www.photobiology.info/Roberts-CR.html> [access 2014-07-11]
- Mainster MA. Violet and blue light blocking intraocular lenses: photoprotection versus photoreception. Br J Ophthalmol 2006; 90: 784–92.
- 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.
- Bruzell EM, Nilsen LTN. Trygg bruk av laser i tannpleien. I: Aktuell nordisk odontologi 2014. Holmstrup P, redaktør. København: Munksgaard Danmark, 2014, Årgang 39, 167–82.
- 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.
- 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.
- International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). Guidelines on Limits of Exposure to Broad-Band Incoherent Optical Radiation (0.38 to 3µm). Health Phys 1997; 73: 539–54.
- 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]
- Price R, Shortall A, Palin W. Contemporary issues in light curing. Oper Dent 2014; 39(1): 4–14.

Vill du bidra med en vetenskaplig artikel?

Hit sänder du ditt manuskript för bedömning:
Tandläkartidningen, Box 1217, 111 82 Stockholm
E-post: manus.tlt@tandlakarforbundet.se
Tel: 08-666 15 00