

Belysning af komposit plast:

Kan belysningstiden reduceres ved anvendelse af en højintensiv polymerisationslampe?

Martin Boye Middelfart og Erik Asmussen

Restaureringer af lyspolymeriserende plast skal opbygges i lag for at polymeriseringen af de dybere dele af restaureringen kan blive bedst mulig. Den lagvise opbygning er en særdeles tidskrævende procedure, og spørgsmålet melder sig derfor om det er forsvarligt at reducere belysningstiden når der anvendes en højintensiv lampe frem for en konventionel halogenlampe. De dybere lag tilføres nemlig supplerende lys når de højereliggende lag belyses.

I undersøgelsen indgik en konventionel halogenlampe med en intensitet på 400 mW/cm² og en højintensiv LED-lampe med en intensitet på 750 mW/cm². Små cylindre af komposit plast, enten med en tykkelse på 2 mm eller opbygget i to lag a 2 mm, blev belyst i 10 eller 20 sek. med LED-lampen. I kontrolgruppen blev 2 mm tykke cylindre belyst i 40 sek. med halogenlampen. Efter polymeriseringen blev hårdheden af cylindrene målt på over- og undersiden. På plastcylindrene af 2 mm tykkelse blev der målt samme hårdhed, både på cylindrenes overside og på undersiden, ved 20 sek. LED-belysning som ved 40 sek. belysning med halogenlampen. Ved opbygning i to lag blev der med LED-belysning i 10 sek. på hvert lag målt samme hårdhed både på oversiden og undersiden som opnået efter 40 sek. belysning med halogenlampen. Det kunne således konkluderes at det med en højintensiv LED-lampe er forsvarligt at reducere belysningstiden fra de 40 sek. der normalt anbefales med en konventionel halogenlampe.

Arbejdet med at belyse plast er en særdeles tidskrævende affære for tandlægen. En amerikansk undersøgelse (1) har vist at den gennemsnitlige amerikanske tandlæge bruger 30 dage om året udelukkende til at belyse plast! Det store tidsforbrug beror bl.a. på at det som bekendt er nødvendigt at opbygge en større plastrestaurering lagvis, da polymeriseringslysets evne til at penetrere plastet er begrænset. Hvor langt lys af en given intensitet trænger ind i plastet, afhænger af flere faktorer, bl.a. plastets farve, indholdet af filler og belysningstiden. Generelt bør det enkelte plastlags tykkelse ikke overstige ca. 2 mm, og hvert lag skal minimum belyses i 40 sek. med en konventionel halogenlampe (2-4).

Udviklingen af polymerisationslamper til komposit plast går imidlertid i retning af stadig større udbredelse af højintensive lamper, idet det er hensigten at belysningstiden hermed kan reduceres (3). Denne udvikling gælder for både halogenlamper og LED- (*Light Emitting Diode*) lamper. Når en plastfyldning opbygges i lag, modtager dybere, allerede hærdede lag lys der passerer gennem højereliggende lag, når disse lag belyses. Da hvert lag (undtagen det øverste) således modtager mere lys end det der benyttes til belysningen af laget selv, er det muligt at hvert lag kan belyses i kortere tid end de traditionelle 40 sek. der anbefales med konventionel halogenlamper, og alligevel opnå optimale egenskaber.

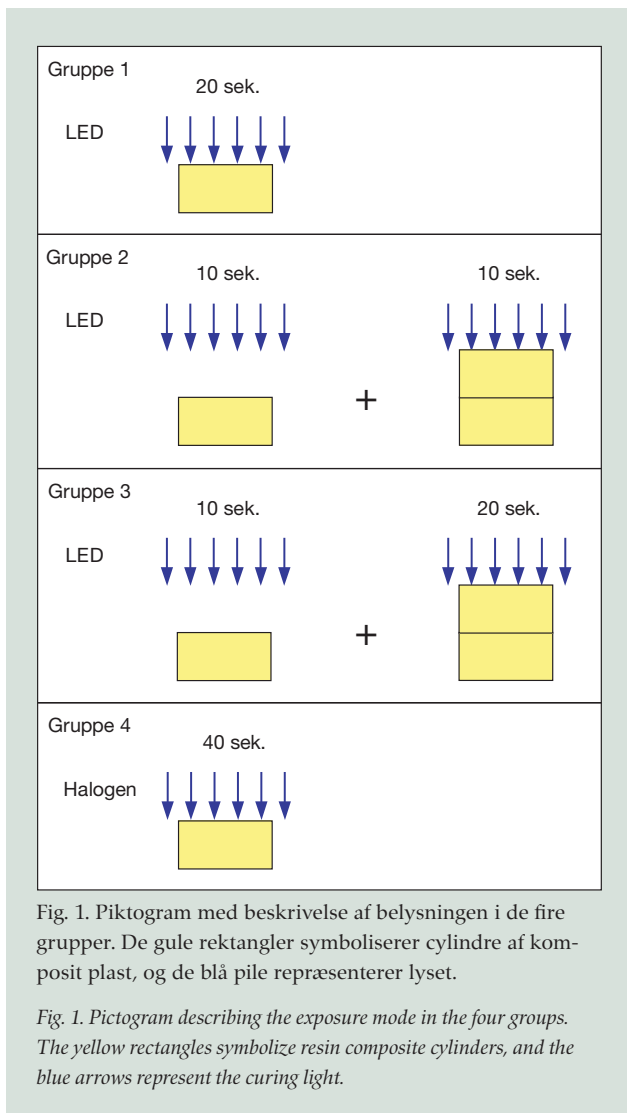
Det var formålet med nærværende arbejde at undersøge om det er forsvarligt at nedsætte belysningstiden af plast når der benyttes en højintensiv LED-polymerisationslampe frem for en konventionel halogenlampe.

Materiale og metode

Der blev benyttet to lamper ved forsøget: FreeLight 2 (3M ESPE) som repræsentant for en højintensiv LED-lampe og halogenlampen XL 3000 (3M ESPE) som repræsentant for en konventionel polymerisationslampe. Intensiteten af de to lamper målt med lysmåler (Optilux) var henholdsvis 750 og 400 mW/cm². (Det kan i en parentes tilføjes at med en anden lysmåler (Demetron) blev de to intensiteter målt til hhv. > 1.000 og 600 mW/cm²). Plastet der blev benyttet, var Filtek Supreme, A2 Body Shade (3M ESPE).

Der blev fremstillet fire grupper af prøvelegemer i form af plastcylindre, med fem prøvelegemer i hver gruppe. Prøvelegemerne blev fremstillet vha. messingforme med en højde på 2 mm, en indre diameter på 4 mm og en ydre diameter på 20 mm. Prøverne i de fire grupper blev fremstillet som følger og som illustreret på Fig. 1.

Gruppe 1: polymerisering i et enkelt lag – En messingform blev placeret på et stykke hvidt filterpapir med en gennemsigtig matrice som mellemlag. Formen blev fyldt med komposit



plast, dækket af et stykke klar matrice og belyst med LED-lampen i 20 sek. med lysledervinduet i kontakt med matricen.

Gruppe 2: polymerisering i to lag – En messingform blev placeret på et stykke hvidt filterpapir med en gennemsigtig matrice som mellemlag. Formen blev fyldt med komposit plast, og plastet belyst med LED-lampen i 10 sek. i en afstand på 2 mm. Endnu en messingform blev nu placeret oven på den første messingform, fyldt med plast, dækket med matrice og belyst i 10 sek. med LED-lampens lysledervindue i kontakt med matricen.

Gruppe 3: polymerisering i to lag – Som gruppe 2, men med den forskel at den sidste belysning fandt sted i 20 sek.

Gruppe 4: polymerisering i et enkelt lag – Som gruppe 1, men med den forskel at halogenlampen blev benyttet med en belysningstid på 40 sek.

Ti min. efter belysningen blev matricerne fjernet, prøvelegemerne frigjort fra formene og placeret tørt ved 37 °C i én uge. Begge endeflader af prøverne blev herefter beslebet med let hånd på carborundumpapir #1.000. Wallace hårdheden, (H_w) blev nu målt på begge sider af prøvelegemerne under en belastning på 1 N. En tidligere undersøgelse har vist at der for et givet plast er en positiv korrelation mellem H_w og antallet af ureagerede dobbeltbindinger i plastet efter polymeriseringen (5). Det må nævnes at Wallace hårdheden angiver indtrængningsdybden af en Vickers diamant under den givne belastning. Dette betyder at jo større H_w er, desto blødere er materialet. Der blev foretaget fire hårdhedsmålinger på hhv. over- og underside af hvert prøvelegeme, og middelværdien blev beregnet som udtryk for H_w af den pågældende side. Herefter beregnedes middelværdi og standarddeviationer af H_w af over- og underside i de fire grupper. Den statistiske behandling af forsøgsresultaterne blev foretaget vha. 2-faktoriel variansanalyse og Newman-Keuls' test. Det statistiske signifikansniveau blev sat til $\alpha = 0,05$.

Resultater

Resultaterne er opført i Tabel 1. Variansanalysen viste en signifikant forskel mellem over- og underside ($P < 0,001$) og mellem de fire grupper ($P < 0,05$). Newman-Keuls' test anvendt på undersiderne viste ingen forskel mellem de fire grupper, men anvendt på oversiderne de forskelle der er vist ved bogstaverne i Tabel 1.

Diskussion

Det forhold at undersiderne af prøverne var signifikant blødere (havde større H_w) end oversiderne, er et udtryk for at der ikke er nået lige så meget lys ned til det nederste lag som der har ramt overfladelaget, der jo var i umiddelbar nærhed af eller i kontakt med lyskilden. Dette fund er i overensstemmelse med adskillige tidligere undersøgelser (fx 2-4,6). Det har været anført at dersom undersiden af plastet besidder en hårdhed på 80% eller mere af oversidens hårdhed, så har undersiden modtaget en passende høj lysmængde, dvs. at lagtykkelsen af plastet har svaret til lampens intensitet (4). I forsøgene beskrevet her afveg H_w af undersiderne i alle tilfælde mindre end 20% fra H_w af oversiderne.

Ser vi på oversiderne, blev signifikante forskelle observeret, idet den højintensive lampe i en af grupperne (gruppe 3) gav en større hårdhed (mindre H_w) end belysningen med halogenlampen (gruppe 4). Den mængde energi som oversi-

Tabel 1. Wallace hårdhed H_w (μm) af plastprøvelegemer belyst på forskellig måde. (Middelværdier \pm standarddeviationer).

	Overside	Underside
Gruppe 1	^{ab} $8,9 \pm 0,6$	^c $9,4 \pm 0,5$
Gruppe 2	^{ab} $8,6 \pm 0,5$	^c $9,4 \pm 0,7$
Gruppe 3	^a $8,1 \pm 0,4$	^c $9,5 \pm 0,7$
Gruppe 4	^b $9,2 \pm 0,3$	^c $9,9 \pm 0,3$

Jo større talværdi, desto blødere er plastet. Værdier med samme bogstav afviger ikke statistisk fra hinanden på $\alpha = 0,05$ niveauet.

den af plastet bliver tilført under belysningen, kan beregnes som produktet af intensitet og belysningstid. I gruppe 3 fås $750 \text{ mW/cm}^2 \times 20 \text{ sek.} = 15.000 \text{ mJ/cm}^2$, i gruppe 4 fås $400 \text{ mW/cm}^2 \times 40 \text{ sek.} = 16.000 \text{ mJ/cm}^2$. Der er således ikke nogen forskel, og ifølge »constant energy«-princippet vil plast der har modtaget samme energimængde uanset belysningsmåden i det væsentligste have samme omsætningsgrad og egenskaber i øvrigt (2, 7, 8). Der er imidlertid forskel på kvaliteten af den lysenergi som udsendes af de to polymerisationslamper. LED-lys har et smalt emissionsspektrum omkring 468 nm, som er fotoinitiatorens campherquinos (CQ) absorptionsmaksimum. Halogenlampen udsender derimod lys i et bredere spektrum med bølgelængder på mellem ca. 400 og 510 nm. Den del af lyset fra halogenlampen som ligger uden for CQ's absorptionspektrum, registreres på lysintensitetsmåleren, men har ingen betydning for polymeriseringen af plastet. Dette betyder at det kun er en del af halogenlampens målte lysintensitet som har betydning for polymeriseringen af plastet. LED-lampens emissionsspektrum er som nævnt næsten sammenfaldende med CQ's absorptionspektrum, hvorfor hele lysintensiteten har betydning for polymeriseringen af plastet. Dette betyder at selv om de beregnede energimængder som plastoverfladen modtager i gruppe 3 og gruppe 4, er omtrent de samme, så er lysenergien i gruppe 3 mere effektiv og kan have givet anledning til den større hårdhed. På den anden side var hårdheden i gruppe 1, hvor oversiden jo blev belyst på samme måde som oversiden i gruppe 3, ikke signifikant forskellig fra hårdheden i gruppe 4, så det er muligt at forskellen i hårdhed mellem gruppe 3 og gruppe 4 beror på en statistisk tilfældighed. Resultatet med gruppe 2 viser at en belysning på kun 10 sek. med LED-lampen var tilstrækkelig til at give samme hårdhed på oversiden som en belysning på 20 sek. (gruppe 1 og gruppe 3).

Undersøgelsen har, som det fremgår af Tabel 1, vist at man får mindst lige så gode resultater ved benyttelse af den højintensive lampe i blot 20 sek. som ved benyttelse af den konventionelle halogenlampe i 40 sek. (gruppe 1 sammenlignet med gruppe 4). Dette fund er i overensstemmelse med en tidligere undersøgelse (3). Forklaringen er at den tilførte energimængde er omtrent den samme i de to tilfælde, og endda af bedre kvalitet for LED-lampens vedkommende. Endvidere viste undersøgelsen at man med den højintensive LED-lampe benyttet i 10 sek. får mindst lige så gode resultater som med den konventionelle halogenlampe benyttet i 40 sek. (gruppe 2 sammenlignet med gruppe 4) når plastet opbygges lagvist. I modsætning til oversiderne er det ikke muligt at beregne den samlede energimængde som undersiderne har modtaget i de to grupper, fordi afstanden ikke er den samme, og fordi lyset absorberes i plastlagene. Den udsendte energimængde ved de to belysninger i gruppe 2 er i alt $750 \text{ mW/cm}^2 \times 10 \text{ sek.} + 750 \text{ mW/cm}^2 \times 10 \text{ sek.} = 15.000 \text{ mJ/cm}^2$. Tager man afstanden og absorptionen i det øverste plastlag i betragtning, er det klart at undersiderne i gruppe 2 har modtaget mindre energi end undersiderne i gruppe 4. Som redegjort ovenfor er lyset fra LED-lampen imidlertid mere effektivt end lyset fra halogenlampen og har altså været tilstrækkeligt til at sikre den samme hårdhed som blev opnået i gruppe 4. Lyset har været så effektivt at hårdheden ikke blev øget ved at øge belysningstiden af det øverste lag til 20 sek. (sml. gruppe 3). Det må nævnes at det er ikke muligt ud fra resultaterne i Tabel 1 at afgøre om det er tilstrækkeligt at belyse et enkelt 2 mm tykt lag i blot 10 sek. med LED-lampen.

Spørgsmålet er nu hvor høj en intensitet en polymerisationslampe skal have for at det er forsvarligt at reducere belysningstiden. Det er desværre ikke muligt at træffe en sikker afgørelse ved at forlade sig på en minimumsværdi for intensiteten målt på lysmåler: som nævnt under »Materiale og metode« var der store forskelle i registreret intensitet mellem de to lysmålere. Dette bekræfter det tidligere fundne at lysmålere ikke er ganske pålidelige (9), og kun formår at give et relativt mål for forskellige polymerisationslampers intensitet. LED-lampen i nærværende undersøgelse havde en intensitet målt på intensitetsmåleren der var ca. dobbelt så høj som intensiteten af den konventionelle halogenlampe, og det må antages at andre LED-lamper med en tilsvarende intensitet også kan benyttes med reduceret belysningstid.

Hvis lampen derimod er en halogenlampe, er situationen imidlertid lidt anderledes, fordi LED-lys og halogenlys som beskrevet ovenfor ikke umiddelbart lader sig sammenligne ved brug af lysintensitetsmålere. Det her sagte indebærer at en højintensiv halogenlampe hvis intensitet ligeledes måles

til at have omtrent den dobbelte intensitet af den konventionelle halogenlampe, ikke nødvendigvis vil kunne benyttes i lige så kort tid som denne undersøgelses LED-lampe, men bør have en endnu højere intensitet bestemt med lysmåler. En bestemmelse af polymerisationsdybden vil kunne give en sikker afgørelse af om en kortere belysningstid med en højintensiv lampe er lige så effektiv som 40 sek. belysningstid med en konventionel halogenlampe (10). (En sådan bestemmelse kan udføres ved belysning af en lille plastcylinder, bortskrabning af det upolymeriserede bundlag, hvorefter *halvdelen* af det plast der er blevet hårdt, angiver det optimalt polymeriserede plast og dermed plastets polymerisationsdybde ved den givne belysning.)

Nu vokser træerne som bekendt ikke ind i himlen, og der er flere forhold som tandlægen skal være opmærksom på når det skal vurderes om belysningstiden kan nedsættes: LED-lys spredes generelt mere end halogenlys (11), således at afstanden mellem lysleder og plastoverflade har større betydning for LED-lamper end for halogenlamper. Afstanden mellem lysleder og plastoverflade kan i klinikken være op til 6 mm (6). Farven og opaciteten af plastet har også betydning for lysets evne til at penetrere. Jo mørkere og jo mere opakt plastet er, desto længere skal belysningstiden være. Det bør betænkes at i nærværende undersøgelse var plastet af en relativt lys farve.

Det kan konkluderes at det under optimale forhold er forsvareligt at reducere belysningstiden med en højintensiv LED-lampe til det halve af de 40 sek. der normalt anbefales med en konventionel halogenlampe, når der er tale om et enkelt lag plast på højest 2 mm tykkelse, og til en fjerdedel ved lagvis opbygning med multiple belysninger.

English summary

Irradiation of composite resins. Is it possible to reduce the irradiation time using a high-intensity polymerisation lamp?

The advent of high-intensity curing units opens up the possibility that the normally recommended curing time of 40 seconds can be reduced without loss of quality of the irradiated resin composite. The present investigation compared the curing efficacy of a conventional halogen curing unit (power density: 400 mW/cm²) and a high-intensity LED curing unit (power density: 750 mW/cm²) used with different exposure regimes (Fig. 1). Small cylinders of resin composite, either of 2 mm thickness or polymerized in two layers each of 2 mm thickness, were irradiated for ten seconds or 20 seconds by the LED curing unit. In the control group, composite cylinders of 2 mm thickness were irradiated for 40 seconds with the halogen curing unit. After curing, the Wallace hardness was measured on the top and bottom side

of five specimens in each group. With the 2 mm specimens, 20 seconds of LED irradiation resulted in the same hardness, both on the top and bottom side of the specimens, as 40 seconds of halogen irradiation. With the specimens polymerized in two layers, LED irradiation for ten seconds resulted in the same hardness as 40 seconds of halogen light irradiation, again both on the top and bottom side of the specimens. It was concluded that it is, in fact, possible to reduce the exposure time by using a high-intensity LED curing unit as compared to the exposure time normally recommended with conventional halogen units.

Litteratur

1. Clinical Research Associates Newsletter, December 1998; 22: 2.
2. Rueggeberg FA, Caughman WF, Curtis JW Jr. Effect of light intensity and exposure duration on cure of resin composite. *Oper Dent* 1994; 19: 26-32.
3. Rueggeberg FA, Ergle JW, Mettenburg DJ. Polymerization depths of contemporary light curing units using microhardness. *J Esthet Dent* 2000; 12: 340-9.
4. Quance SC, Shortall AC, Harrington E, Lumley PJ. Effect of exposure intensity and post-cure temperature storage on hardness of contemporary photo-activated composites. *J Dent* 2001; 29: 553-60.
5. Asmussen E. Restorative resins. Hardness and strength vs. quantity of remaining double bonds. *Scand J Dent Res* 1982; 90: 484-9.
6. Hansen EK, Asmussen E. Visible-light curing units: correlation between depth of cure and distance between exit window and resin surface. *Acta Odontol Scand* 1997; 55: 162-6.
7. Yap AU, Seneviratne C. Influence of light energy density on effectiveness of composite cure. *Oper Dent* 2001; 26: 460-6.
8. Halvorson RH, Erickson RL, Davidson CL. Energy dependent polymerization of resin-based composite. *Dent Mater* 2002; 18: 463-9.
9. Hansen EK, Asmussen E. Reliability of three dental radiometers. *Scand J Dent Res* 1993; 101: 115-9.
10. Asmussen E, Peutzfeldt A. Polymerisationslamper – nye tendenser. I: Holmstrup P, red. *Odontologi* 2003. København: Munksgaard Danmark; 2003. p. 117-34.
11. Meyer GR, Ernst CP, Willershausen B. Decrease in power output of new light-emitting diode (LED) curing devices with increasing distance to filling surface. *J Adhes Dent* 2002; 4: 197-204.

Forfattere

Martin Boye Middelfart, tandlæge, og Erik Asmussen, professor, cand.scient., dr.odont.

Afdeling for Dentalmaterialer, Odontologisk Institut, Det Sundhedsvidenskabelige Fakultet, Københavns Universitet