

LED-polymerisationslamper: intensitet, strålevarme og polymerisationsdybde

Erik Asmussen, Jeanett Pedersen og Anne Peutzfeldt

De første LED-polymerisationslamper blev markedsført bl.a. med henvisning til at denne lampetype kun afgiver en ubetydelig mængde strålevarme til restaurering, tand og pulpa. Moderne udgaver af LED-lamperne er imidlertid kommet på markedet i højintensive udgaver, og det er ukendt hvorledes disse lamper forholder sig mht. strålevarme.

I undersøgelsen blev intensitet og strålevarme målt for 13 LED-lamper og to halogenlamper. Desuden blev den polymerisationsdybde bestemt som blev opnået med et komposit plast, belyst i 20 sek. med de undersøgte lamper. Det blev fundet at LED-lamper ikke er principielt forskellige fra halogenlamper mht. strålevarme, og at højintensive LED-lamper afgiver mere strålevarme end konventionelle halogenlamper. De to lysintensitetsmålere der indgik i undersøgelsen, giver en god vurdering af både strålevarme og polymerisationsdybde med såvel LED- som halogenlamper. Strålevarme og polymerisationsdybde er nøje forbundet, idet stor polymerisationsdybde opnås med polymerisationslamper der afgiver megen strålevarme til plastmaterialet. Dette er et forhold der bør tages i betragtning når det første plastlag i en plastrestaurering skal belyses, og afstanden til pulpa er lille.

I løbet af de sidste fem år er en helt ny type af polymerisationslampe begyndt at vinde indpas blandt danske tandlæger. Det drejer sig om LED-lamperne (LED står for *Light Emitting Diode*), der efterhånden er kommet på markedet i mange udgaver. Ved markedsføringen af de første LED-lamper blev der henvist til en række fordele ved disse lamper i sammenligning med de gængse halogenlamper: LED-lamper 1) har en meget lang levetid af lyskilden, 2) er ledningsfri, 3) er støjfri da en ventilator ikke er nødvendig og 4) medfører reduceret varmeudvikling i det belyste plast pga. ringe strålevarme. Punkterne 2) og 3) har imidlertid senere måttet modificeres, idet flere nyere lampefabrikater er forsynet med en ledning eller en ventilator. Endvidere var målingerne af strålevarmen foretaget på tidlige udgaver af LED-lamper, der var kendetegnet ved en relativt lav intensitet (1-4). Senere er der imidlertid kommet LED-lamper på markedet med betydeligt større intensitet, og det er fundet at temperaturstigningen i overfladen af et belyst plastmateriale også med LED-lamper kan være relativt høj (5). Temperaturstigningen kan være uønsket høj, fordi dyreforsøg har vist at temperaturstigninger i pulpa større end blot 5,5 °C indebærer en begyndende risiko for irreversible skader (6).

Når udviklingen er gået i retning af større lampeintensitet, både hvad angår LED-lamper og halogenlamper, hænger det sammen med ønsket om at kunne reducere belysningstiden (7,8) samtidig med opretholdelsen af en acceptabel polymerisationsdybde af hvert lag af plast. Overskrides polymerisationsdybden, fås en mangelfuld polymerisering af de dybere dele af hvert lag, hvilket indebærer reducerede mekaniske egenskaber (8, 9), reduceret binding (10) samt forøget frigivelse af restmonomer og andre potentielt skadelige substanser (11).

Det var hensigten med nærværende arbejde at måle lysintensiteten af en række LED-polymeriseringslamper på det danske marked og sætte denne i relation til strålevarmen og polymerisationsdybden bestemt med de undersøgte lamper.

Materiale og metode

Lamperne der blev anvendt i forsøgene, er opført i Tabel 1. De 13 første lamper er LED-lamper, de to sidste er halogenlamper.

Lysintensitet – Lampernes intensitet blev målt vha. en lysmåler der enten var en konventionel lysmåler (Curing Radiometer, Demetron), eller en lysmåler specielt udviklet til måling af LED-lampers intensitet (L.E.D. Radiometer, Demetron). Hvor førstnævnte lysmåler har en maksimalregistrering på 1000 mW/cm², er sidstnævnte i stand til at måle intensiteter på helt op til 2000 mW/cm².

Tabel 1. Polymerisationslamper benyttet i undersøgelsen. De 13 første er LED-lamper, de to sidste er halogenlamper. Desuden vises lampernes intensitet (mW/cm^2) målt med to forskellige lysintensitetsmålere.

Lampe	Fabrikant	L.E.D. Radiometer	Curing Radiometer
Aqua Blue	Toesco	300	295
Bluephase	Ivoclar	1120	>1000
Bluephase C8	Ivoclar	740	700
CoolBlu	Dental Systems	240	240
L.E.Demetron 1	Kerr	810	780
Dio Power	CMS	610	600
FreeLight	3M ESPE	220	220
FreeLight 2	3M ESPE	820	790
Lux-O-Max	Akeda	100	110
Lux-O-Max P1	Akeda	410	400
Lysta LCD 88	Lysta	790	750
SmartLite	Dentsply	600	580
UltraLume LED 2	Ultradent	400	370
XL 3000	3M ESPE	400	370
Optilux 501	Kerr	720	700

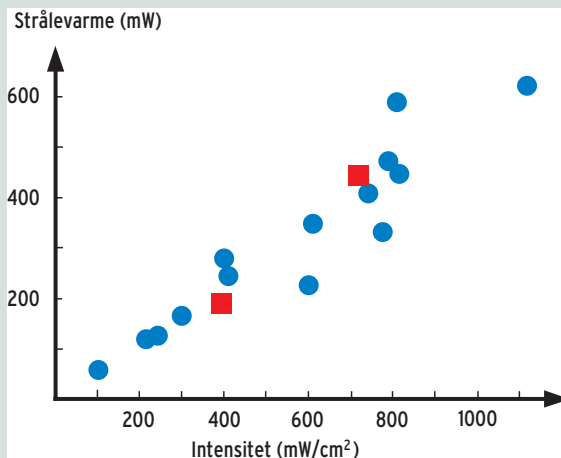


Fig. 1. Korrelationen mellem intensitet og strålevarme for de undersøgte polymerisationslamper. De blå cirkler repræsenterer LED-lamper og de røde firkanter halogenlamper.

Fig. 1. Correlation between intensity and radiant heat for the investigated curing units. The blue circles represent LED units and the red squares QTH units.

Strålevarme – Den udviklede strålevarme blev bestemt vha. et apparatur (Ophir, Japan) der tillod placeringen af lysledere-rens udgangsvindue i en lille cylindrisk fordybning med funktion som et kalorimeter. Efter aktivering af lamperne i den mest intense af de evt. flere indstillinger kunne lampernes varmeudvikling per sek. aflæses i Watt.

Polymerisationsdybde – Registreringen af polymerisationsdybden foregik i henhold til ISO's standard. En cylindrisk metalform ($d = 4 \text{ mm}$, $h = 8 \text{ mm}$) blev placeret på et stykke hvidt filterpapir med en gennemsigtig matrice som mellem-lag. Formen blev herefter fyldt med komposit plast (GrandiO Caps, farve A2, VOCO), dækket af gennemsigtig matrice og belyst fra den ene side i 20 sek. med lysledervinduet i kontakt med matricen. Materialet blev nu presset ud af formen, ikke-polymeriseret plast fjernet med en plastspatel, og længden af den polymeriserede cylinder målt med en skydelære. Der blev udført tre bestemmelser for hver lampe, og der blev beregnet middelværdi og standarddeviation.

Statistik – Den statistiske behandling af forsøgsresultaterne blev foretaget ved hjælp af regressionsanalyse (12). Det statistiske signifikansniveau blev sat til $\alpha = 0,05$.

Resultater

Resultaterne er opført i Tabel 1 og vist i Fig. 1 og 2. Der var

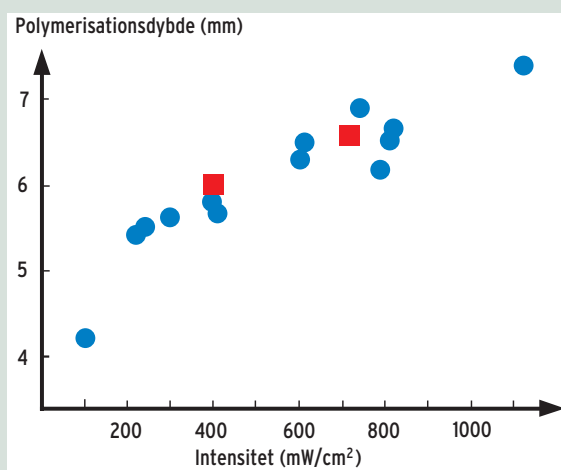


Fig. 2. Korrelationen mellem intensitet og polymerisationsdybde for de undersøgte polymerisationslamper. Den puljede standarddeviation på polymerisationsdybderne var 0,05 mm. De blå cirkler repræsenterer LED-lamper og de røde firkanter halogenlamper. Det bør bemærkes at kun omtrent halvdelen af de angivne polymerisationsdybder er den dybde til hvilken plastet er optimalt hærnet.

Fig. 2. Correlation between intensity and depth of cure for the investigated curing units. The pooled standard deviation of the depths of cure was 0.05 mm. The blue circles represent LED units and the red squares QTH units. About half of the depicted depth of cure is optimally cured resin composite.

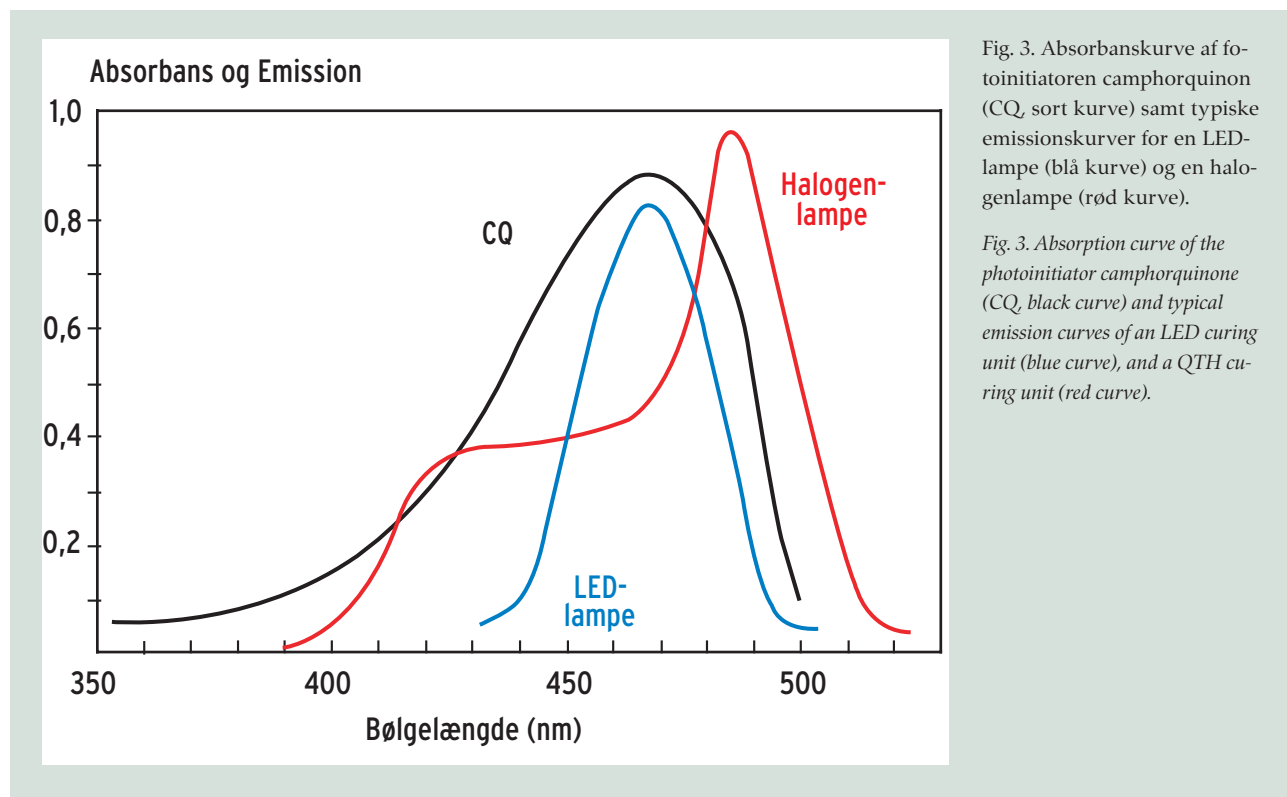


Fig. 3. Absorbanskurve af fotoinitiatoren camphorquinon (CQ, sort kurve) samt typiske emissionskurver for en LED-lampe (blå kurve) og en halogenlampe (rød kurve).

Fig. 3. Absorption curve of the photoinitiator camphorquinone (CQ, black curve) and typical emission curves of an LED curing unit (blue curve), and a QTH curing unit (red curve).

en signifikant korrelation ($r = 0,99$) mellem intensiteterne bestemt med Curing Radiometer og L.E.D. Radiometer for de 14 lampers vedkommende der havde en intensitet lavere end 1000 mW/cm^2 , således at den kunne måles med begge lysmålere. Værdierne der blev registreret med L.E.D. Radiometer, var i middel 18 mW/cm^2 højere end værdierne målt med Curing Radiometer. Der var endvidere en signifikant korrelation mellem intensitet og strålevarme (Fig. 1, $r = 0,95$), og mellem intensitet og polymerisationsdybde (Fig. 2, $r = 0,92$). De her viste korrelationer har intensiteter målt med L.E.D. Radiometer. Med Curing Radiometer var de tilsvarende korrelationskoefficienter hhv. 0,94 og 0,89. I Fig. 1 og 2 er resultater opnået med LED-lamper markeret med blå, mens resultater med de to halogenlamper er markeret med rødt. Det ses at halogenlamperne passer smukt ind i det mønster der dannes af LED-lamperne.

Diskussion

Med en konventionel lysmåler bestemmes en polymerisationslampes intensitet i det blå bølgelængdeområde, dvs. i området 400-500 nm; men det vides ikke hvilken vægt lys-

måleren tillægger intensiteten ved de forskellige bølgelængder ved angivelsen af den samlede intensitet. Fotoinitiatoren camphorquinon, der findes i næsten alle plast, har sit absorptionsmaksimum ved 468 nm (Fig. 3), og en måling af en lampes intensitet bør derfor finde sted ved bølgelængder der afviger højst $\pm 30 \text{ nm}$ fra dette maksimum. Hvis intensitetsbestemmelsen finder sted over et større bølgelængdeinterval, er der risiko for at lysmåleren fører til en fejlagtig vurdering af effektiviteten af to lamper med forskellig form af emissionsspektret. Dette fremgår af Fig. 3, hvor emissionsspektret for en typisk LED-lampe og en typisk halogenlampe er afbildet. Hvis alle intensiteter målt i intervallet 400-500 nm tillægges samme vægt, vil halogenlampen i det viste tilfælde udvise større intensitet med lysmåleren end det er tilfældet med LED-lampen. Ikke desto mindre ses at LED-lampen netop i området omkring camphorquinonens absorptionsmaksimum har den største intensitet, hvoraf følger at denne lampe også vil have den største effektivitet. Det er for at undgå denne kilde til fejl at intensitetsmålere som L.E.D. Radiometer er blevet udviklet. Sådanne intensitetsmålere bestemmer intensiteten i et relativt snævert område omkring 468 nm og vil derfor ikke føre til en under-

vurdering af LED-lampers effektivitet. Af den sammenligning mellem de to lysmålere som her er foretaget, fremgår dog at den undersøgte konventionelle lysmåler giver omtrent de samme resultater som lysmåleren specielt beregnet til LED-lamper, for både LED-lampernes og halogenlampernes vedkommende.

Som nævnt indledningsvis blev de første LED-lamper lanceret som lamper med ringe strålevarme og dermed ringe temperaturforøgelse af plastrestaurering, tand og pulpa. Det blev anført at LED-lamper har et snævert spektrum uden langbølget lys, der som bekendt især er forbundet med varmemstråling. Lyset udsendt fra halogenlamper er derimod dannet under frafiltrering af langbølget og infrarødt lys, således at en anelig strålevarme vil være resultatet dersom filtrene ikke er effektive. I nærværende arbejde blev den afgivne strålevarme registreret og relateret til lampens intensitet målt med lysmåler (Fig. 1). Som nævnt adskiller de to halogenlamper sig ikke principielt fra LED-lamperne, og det kan konkluderes at i hvert fald de her undersøgte halogenlamper foretager en effektiv frafiltrering af langbølget og dermed varmebærende lys.

I et tidligere arbejde blev temperaturstigningen i overfladen af en 4 x 2 mm plastskeive målt efter belysning i 20 sek. med en række polymerisationslamper (5). Fig. 4 viser sammenhængen mellem temperaturstigningen opnået i dette tidligere arbejde, og strålevarmen bestemt i nærværende arbejde for de lampers vedkommende der er fælles for de to undersøgelser. Det ses at resultaterne er nøje korreleret ($r = 0,94$). Det kan således fastslås at LED-lamper ikke i alle tilfælde resulterer i mindre varmeudvikling i et polymeriserende plast, og det kan bekræftes at højintensive LED-lamper fører til større opvarmning end konventionelle halogenlamper.

Den strålevarme som her er blevet bestemt, skal lægges til den varme der udvikles som følge af selve polymerisationen når plastet i en restaurering belyses (13). Heraf følger at de temperaturer der er afbildet i Fig. 4, kan blive endnu højere. Selv om temperaturerne blev registreret tæt under plastoverfladen, og der således i en klinisk situation ville være en vis afstand til pulpa, kan temperaturstigningen vurderes til at være betænkelig høj med de mere intensive lamper, ikke mindst ved en forøgelse af belysningstiden ud over 20 sek. Dette forhold er det vigtigt at have for øje når det første plastlag i en plastrestaurering lyspolymeriseres i ringe afstand til pulpa.

Hvad angår polymerisationsdybden blev det fundet at der er en signifikant sammenhæng mellem intensitet og polymerisationsdybde (Fig. 2). Dette er i overensstemmelse med adskillige tidligere arbejder (fx 14,15). Sammenholdes Fig. 1 og

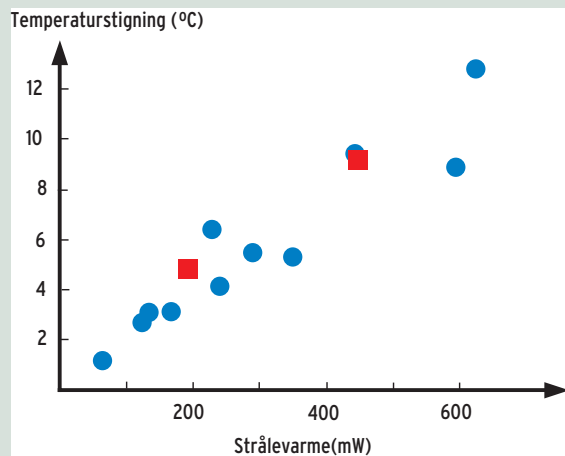


Fig. 4. Korrelationen mellem strålevarme bestemt i nærværende arbejde og tidligere bestemt temperaturstigning (5) i overfladen af plast, belyst i 20 sek. med en polymerisationslampe. De blå cirkler repræsenterer LED-lamper og de røde firkanter halogenlamper.

Fig. 4. Correlation between radiant heat determined in the present work and earlier determined temperature rise (5) in the surface of a resin composite irradiated for 20 s. The blue circles represent LED-lamps and the red squares QTH units.

Fig. 2, fremgår det at stor strålevarme er knyttet til stor polymerisationsdybde. Dette bekræfter tidligere resultater (16). I lighed med Fig. 1 viser også Fig. 2 at de to halogenlamper ikke adskiller sig principielt fra LED-lamperne. Dette indebærer, som det er blevet nævnt ovenfor, at lysmåleren L.E.D. Radiometer (og i øvrigt også Curing Radiometer, som det fremgår af Tabel 1) giver et ganske præcist billede af lampernes effektivitet, hvad angår både LED-lamper og halogenlamper.

Det kan konkluderes at LED-lamper ikke er principielt forskellige fra halogenlamper mht. afgivelse af strålevarme. De to lysintensitetsmålere der indgik i undersøgelsen, giver en god vurdering af både strålevarme og polymerisationsdybde med såvel LED- som halogenlamper. Strålevarme og polymerisationsdybde er nøje forbundet, idet stor polymerisationsdybde opnås med polymerisationslamper der afsætter megen energi i plastmaterialet og derfor er potentielt skadelige for pulpa. Af hensyn til varmeudviklingen bør belysning med højintensive polymerisationslamper, LED-såvel som halogenlamper, foretages i kortere tid end den der benyttes med mindre kraftige lamper, især ved polymeriseringen af det første lag af plast.

Tak

Direktør *Gregers Lystager*, Lysta, Farum, takkes for lån af apparatur til målingerne af strålevarme. Dentalkonsulent *Jesper Winkel Andersen*, VOCCO, takkes for at have doneret plastmaterialet GrandiO til bestemmelsen af polymerisationsdybderne. Desuden tak til fabrikanterne der har stillet undersøgelsens polymerisationslamper til disposition.

English summary

LED photocuring units: Intensity, radiant heat, and depth of cure

The first LED curing units were marketed with the claim that the radiant heat from these units was insignificant. Recently, however, LED units of high intensity have been commercialised with a production of radiant heat that has not been investigated. The present study measured the intensity and the radiant heat of thirteen LED and two QTH curing units. In addition, the depth of cure of a resin composite was determined at an exposure time of 20 seconds. It was found that LED units in principle are similar to QTH units as regards radiant heat, and that LED units of high intensity produce more radiant heat than do conventional QTH curing units. The two radiometers investigated were good predictors of radiant heat and depth of cure. Radiant heat and depth of cure were closely related in that greater depth of cure was found with units giving off higher amounts of radiant heat. This relationship should be taken into consideration when the first layer of resin composite is irradiated and the distance to the pulp is short.

Litteratur

1. Knezević A, Tarle Z, Meniga A, Sutalo J, Pichler G, Ristić M. Degree of conversion and temperature rise during polymerization of composite resin sample with blue diodes. *J Oral Rehabil* 2001; 28: 586-91.
2. Hofmann N, Hugo B, Klaiber B. Effect of irradiation type (LED or QTH) on photoactivated shrinkage strain kinetics, temperature rise, and hardness. *Eur J Oral Sci* 2002; 110: 471-9.
3. Yap AU, Soh MS. Thermal emission by different light-curing units. *Oper Dent* 2003; 28: 260-6.
4. Ozturk B, Ozturk AN, Usumez A, Usumez S, Ozer F. Temperature rise during adhesive and resin composite polymerization with various light curing sources. *Oper Dent* 2004; 29: 325-32.
5. Asmussen E, Peutzfeldt A. Temperature rise induced by some light emitting diode and quartz-tungsten-halogen curing units. *Eur J Oral Sci* 2005; 113: 96-8.
6. Zach L, Cohen G. Pulp response to externally applied heat. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1965; 19: 515-30.
7. Middelfart MB, Asmussen E. Belysning af komposit plast: Kan belysningstiden reduceres ved anvendelse af en højintensiv polymerisationslampe? *Tandlægebladet* 2004; 108: 732-5.
8. Rueggeberg FA, Ergle JW, Mettenberg DJ. Polymerization depths of contemporary light curing units using microhardness. *J Esthet Dent* 2000; 12: 340-9.
9. Asmussen E. Restorative resins. Hardness and strength vs. quantity of remaining double bonds. *Scand J Dent Res* 1982; 90: 484-9.
10. Uno S, Asmussen E. Effect on bonding of curing through dentin. *Acta Odontol Scand* 1991; 49: 317-20.
11. Munksgaard EC, Peutzfeldt A, Asmussen E. Elution of TEGDMA and BisGMA from a resin and a resin composite cured with halogen or plasma light. *Eur J Oral Sci* 2000; 108: 341-5.
12. Hald A. Statistical theory with engineering applications. New York: Wiley & Sons; 1952; 522-41.
13. Shortall AC, Harrington E. Temperature rise during polymerization of light-activated resin composites. *J Oral Rehabil* 1998; 25: 908-13.
14. 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.
15. Asmussen E, Peutzfeldt A. Light-emitting diode curing: Influence on selected properties of resin composites. *Quintessence Int* 2002; 34: 71-5.
16. Hansen EK, Asmussen E. Correlation between depth of cure and temperature rise of a light-activated resin. *Scand J Dent Res* 1993; 101: 176-9.

Forfattere

Erik Asmussen, professor, cand.scient., dr.odont., *Jeanett Pedersen*, stud.odont., og *Anne Peutzfeldt*, lektor, ph.d., dr.odont. Afdeling for Dentalmaterialer, Odontologisk Institut, Det Sundhedsvidenskabelige Fakultet, Københavns Universitet