

Utjecaj intenziteta svjetla za polimerizaciju na porast temperature u uzorku kompozitnog materijala (II dio)

Alena Knežević¹
Zrinka Tarle¹
Višnja Negovetić Mandić¹
Goran Pichler²

¹Zavod za dentalnu patologiju
Stomatološkog fakulteta
Sveučilišta u Zagrebu
²Institut za Fiziku, Zagreb

Sažetak

Jedna od najvažnijih negativnih posljedica stvrdnjavanja kompozitnih materijala halogenim žaruljama uz polimerizacijsko skupljanje jest i porast temperature. Taj porast u izravnoj je svezi s intenzitetom svjetla za polimerizaciju. Naime, što je intenzitet svjetla veći, veći je i porast temperature. Kako danas na tržištu postoje polimerizatori koji imaju po nekoliko različitih polimerizacijskih programa s različitom raspodjelom intenziteta svjetla unutar polimerizacijskog intervala i s različitim jakošću, svrha rada bila je ispitati utjecaj različitih polimerizacijskih programa na porast temperature u uzorku kompozitnoga materijala. U eksperimentu su rabljeni Tetric Ceram (Vivadent, Schaan, Liechtenstein) i Filtek Z 250 (3M Dental Products, St. Paul, MN) kompozitni materijali. Uzorci kompozitnoga materijala polimerizirani su Elipar Trilight halogenom žaruljom (ESPE, Seefeld, Germany) s tri- ma polimerizacijskim programima različita intenziteta (srednji, eksponencijski i standardni). Najveći porast temperature zabilježen je nakon 40 sekundi kod programa s najvećim intenzitetom (standardni program (ETS)), dok je najniži porast temperature bio kod eksponencijskog programa (ETE) nakon 10 sekundi, a kod programa srednjeg intenziteta (ETM) nakon 40 sekundi.

Ključne riječi: uređaji za polimerizaciju, kompozitni materijali, polimerizacija, temperaturni porast.

Acta Stomat Croat
2005; 441-447

IZVORNI ZNANSTVENI
RAD
Primljeno: 10. svibnja 2005.

Adresa za dopisivanje:

Alena Knežević
Zavod za dentalnu patologiju
Stomatološki fakultet
Gundulićeva 5, 10000 Zagreb
Tel: 01 48 02 113
Fax: 01 48 02 159

Uvod

Tijekom restaurativnoga postupka kompozitnim materijalima i adhezijskim sredstvima postoji opasnost od prolaznih reakcija do trajnog oštećenja zubne pulpe. Najčešće spominjani čimbenici koji mogu uzrokovati reakciju pulpe jesu lokalna anestezija, mehanička obradba kaviteta, jetkanje dentina, nepotpuno stvaranje hibridnoga sloja uz

nedostatno pečaćenje tubulusa, nedostatna polimerizacija s posljedičnim otpuštanjem neizreagirana rezidualnog monomera, polimerizacijsko skupljanje s posljedičnim mikropropuštanjem i bakterijskom penetracijom, te porast temperature tijekom procesa polimerizacije kompozitnih materijala.

Danas na tržištu postoji mnogo vrsta halogenih uređaja za polimerizaciju kompozitnih materijala intenziteta većeg od 1000 mW/cm² sa svrhom da

omogućće bržu i učinkovitiju polimerizaciju kompozitnog ispuna. Veći izlazni intenzitet svjetla rezultat je veće energije zračenja iz polimerizacijskoga uređaja što uzrokuje i veći porast temperature (1, 2).

Temperaturni porast raste s porastom intenziteta svjetla, vremenom osvjetljavanja i smanjenjem debljine sloja kompozitnog materijala. Masutani i suradnici (3) pokazali su da brzina egzotermne reakcije svjetlom polimerizirajućih kompozitnih materijala raste s porastom intenziteta emitiranoga svjetla. Također su zaključili da materijal ima veći utjecaj na porast temperature tijekom polimerizacije nego izvor svjetla. Suprotno tome, Strang (4) je u svojim radovima pokazao da je veći utjecaj izvora svjetla na porast temperature tijekom polimerizacije nego same reakcije u materijalu.

Temperaturni porast u pulpnome tkivu nije samo uzrokovan intenzitetom i vremenom ekspozicije plavome svjetlu nego i bojom kompozitnoga materijala, debljinom sloja i poroznošću kompozitnoga materijala (5,6). Porast temperature uzrokuje koagulaciju protoplazme, ekspanziju tekućine u pulpi i dentinskim tubulusima, povećava izlaz tekućine iz dentinskih tubulusa, a ekspanzija tekućine u pulpnome tkivu može dovesti do ozljede krvnih žila te posljedične nekroze tkiva (7).

Zach i Cohen (8) su ustanovili da porast temperature od 5,5°C uzrokuje ireverzibilna oštećenja pulpe čak u 15% slučajeva, a porast temperature od 11,2°C uzrokuje nekrozu u čak 60% slučajeva.

Svrha rada bila je pokazati utjecaj triju različitih intenziteta svjetla polimerizacijskoga uređaja na porast temperature u uzorku dvaju kompozitnih materijala.

Materijali i postupci

U eksperimentu su rabljeni Tetric Ceram (TC) (boja A1) (br. B49177) i Filtek Z 250 (F) (boja A1) (br.20000222) kompozitni materijali. Uzorci kompozitnoga materijala polimerizirani su Elipar Trilight halogenim uređajem za polimerizaciju s trima polimerizacijskim programima različita intenziteta:

1. "medium mode" (program srednjeg intenziteta) (ETM)

2. "exponential mode" (eksponencijski program) (ETE)
3. "standard mode" (standardni program) (ETS).

Valne duljine emitiranoga svjetla obuhvaćaju područje valnih duljina od 400 do 515 nm.

ETM program emitira svjetlo jednolika intenziteta od 450 mW/cm² i predstavlja kontrolnu skupinu. Pri osvjetljavanju ETE programom osvjetljavanje počinje s jakošću od 100 mW/cm² i postupno raste tijekom 15 sekundi do vrijednosti od 800 mW/cm² te tu vrijednost zadržava do isteka 40-te sekunde. ETS program emitira svjetlost jednolika intenziteta jakosti 800 mW/cm².

Za mjerenje temperature pripremljeni su uzorci kompozitnoga materijala u plastičnome kalupu 4x4x4 mm. Temperatura je mjerena Metex M-3850 D multimetrom (Primasens, Winzeln, Germany) s vrškom temperature sonde uronjene u nepolimerizirani uzorak kompozitnoga materijala do dubine 1 mm. Kalup za uzorke otvoren je s gornje i jedne postranične strane, tako da je temperaturna sonda, na kojoj je označena veličina od 1 mm, uronjena u kompozitni materijal postranično, a izvor svjetla prislonjen je uz gornju površinu. Time je izbjegnuto izravno zagrijavanje temperature sonde uređajem za polimerizaciju (9). Uzorci TC kompozitnoga materijala polimerizirani su 40 sekundi, a F kompozitnog materijala 20 sekundi. Nakon isteka vremena polimerizacije (preporučenog od proizvođača za dotični materijal), temperaturna je sonda ostala uronjena u uzorak materijala sljedećih 40 sekundi kako bi se vidjele promjene u materijalu nakon prestanka osvjetljavanja.

Metex M-3850 D multimetar spojen je s osobnim računalom te je za svaki uzorak napravljen zaseban grafički prikaz porasta temperature tijekom svake sekunde polimerizacije.

Načinjeno je ukupno 60 uzoraka: 30 za TC i 30 za F kompozitni materijal. Za svaki materijal skupina od 30 uzoraka podijeljena je na tri dijela: 10 uzoraka za polimerizaciju ETM programom, 10 uzoraka za polimerizaciju ETE i 10 uzoraka za polimerizaciju ETS programom.

Dobiveni rezultati statistički su analizirani deskriptivnom statistikom, ANOVA za razlike u temperaturi s obzirom na izvor svjetlosti, i t-testom za nezavisne uzorke da bi se utvrdilo postoji li razli-

ka u temperaturi s obzirom na uporabljeni kompozitni materijal.

Grafički je prikazan primjer ispisa mjerenja za jedan uzorak kompozitnoga materijala tijekom 40 sekundi osvjetljavanja.

Rezultati

Rezultati mjerenja temperature u 10-toj, 20. i 40. sekundi prikazani su u tablicama 1-3. Na slikama 1 i 2 vidi se porast temperature u svakoj sekundi polimerizacije.

Promatrane su razlike u temperaturi s obzirom na polimerizacijski program pojedinačno za materijale F i TC (raščlamba varijance) (tablica 1, 2).

Kad je uporabljen F kompozitni materijal, pokazalo se da nisu pronađene razlike u temperaturi s obzirom na polimerizacijski program nakon 10 sekundi ($p > 0,05$). Na kraju polimerizacije (nakon 20 sekundi) razlike su pronađene između svih triju polimerizacijskih programa ($p < 0,05$), a najveća je temperatura utvrđena kada se je primijenio ETS program (tablica 1).

Kada je upotrijebljen materijal TC, razlike u temperaturi s obzirom na polimerizacijski program pronađene su nakon 10, 20 i 40 sekundi (kraj polimerizacije) ($p < 0,05$) i to između svih triju polimeriza-

cijskih programa. Nakon 10 i nakon 20 sekundi najveća je temperatura pronađena kod ETS programa, a najmanja kod ETE programa, a nakon 40 sekundi najveća je ponovno bila kod ETS programa, ali najmanja kod ETM programa (tablica 2).

Također su promatrane razlike temperature s obzirom na materijal (F:TC), t-testom za nezavisne uzorke u 10. sekundi i na kraju polimerizacije (u 40. sekundi za TC i u 20. sekundi za F) (tablica 3).

Kod ETM programa pronađene su razlike u temperaturi između dvaju upotrijebljenih materijala u 10. sekundi ($p < 0,05$), ali na kraju polimerizacije razlika nije bilo ($p > 0,05$). Veću temperaturu cijelo vrijeme osvjetljavanja pokazivao je TC.

Kod ETE polimerizacijskoga programa pronađene su razlike u temperaturi ($p < 0,05$) između dvaju uporabljenih materijala i u 10. sekundi i na kraju polimerizacije. Veću temperaturu u 10. sekundi pokazivao je F, a na kraju polimerizacije TC.

Kod ETS programa pronađene su razlike u temperaturi između dvaju uporabljenih materijala u 10. sekundi ($p < 0,05$), a razlika u temperaturi na kraju polimerizacije nije bilo ($p > 0,05$). Veću temperaturu cijelo vrijeme osvjetljavanja pokazivao je TC.

Tablica 1. ANOVA za razlike u temperaturi s obzirom na polimerizacijski program (Filtek Z250 kompozitni materijal)

Table 1. ANOVA for difference in temperature rise in relation to polymerization mode (Filtek Z250 composite material).

| Kompozitni materijal / Composite material | Deskriptivna statistika / Descriptive statistics | | | | | | | ANOVA za razlike u temperaturi s obzirom na polimerizacijski program / ANOVA for difference in temperature rise in relation to polymerization mode | |
|---|--|--|----|----------------------------------|---------|------|------|--|-------|
| | Vrijeme / Time | Polimerizacijski program / Polymerization mode | N | Sr. vrijednost / Mean value (°C) | St. Dev | Min. | Max. | F | p |
| F | 10 s | ETM | 10 | 7,80 | ,919 | 6 | 9 | 2,600 | ,093 |
| | | ETE | 10 | 7,00 | ,667 | 6 | 8 | | |
| | | ETS | 10 | 7,60 | ,843 | 6 | 9 | | |
| | 20 s | ETM | 10 | 9,70 | ,949 | 8 | 11 | 174,826 | <0,05 |
| | | ETE | 10 | 8,50 | ,527 | 8 | 9 | | |
| | | ETS | 10 | 14,70 | ,823 | 13 | 16 | | |

Legenda / Legend:

F - F vrijednost / F value

N - Broj uzoraka / Number of samples

p - Razina znatnosti / Significant level

Tablica 2. ANOVA za razlike u temperaturi s obzirom na polimerizacijski program (Tetric Ceram kompozitni materijal)

Table 2. ANOVA for difference in temperature rise in relation to polymerization mode (Tetric Ceram composite material).

| Kompozitni materijal / Composite material | Deskriptivna statistika | | | | | | | ANOVA za razlike u temperaturi s obzirom na polimerizacijski program / ANOVA for difference in temperature rise in relation to polymerization mode | |
|---|-------------------------|--|----|--------------------------------------|-------|------|------|--|-------|
| | Vrijeme / Time | Polimerizacijski program / Polymerization mode | N | Srednja vrijednost / Mean value (°C) | SD | Min. | Max. | F | p |
| TC | 10 s | ETM | 10 | 8,70 | ,823 | 7 | 10 | 173,704 | <0,05 |
| | | ETE | 10 | 4,80 | ,919 | 3 | 6 | | |
| | | ETS | 10 | 12,20 | ,919 | 11 | 13 | | |
| | 20 s | ETM | 10 | 10,60 | 1,075 | 8 | 12 | 118,174 | <0,05 |
| | | ETE | 10 | 8,60 | ,516 | 8 | 9 | | |
| | | ETS | 10 | 14,20 | ,789 | 13 | 15 | | |
| | 40 s | ETM | 10 | 10,20 | ,919 | 9 | 12 | 83,19 | <0,05 |
| | | ETE | 10 | 11,60 | ,843 | 10 | 13 | | |
| | | ETS | 10 | 14,90 | ,738 | 14 | 16 | | |

Legenda / Legend:

F - F vrijednost / F value

N - Broj uzoraka / Number of samples

p - Razina znatnosti / Significant level

Tablica 3. Razlike u temperaturi s obzirom na kompozitni materijal (t-test za nezavisne uzorke)

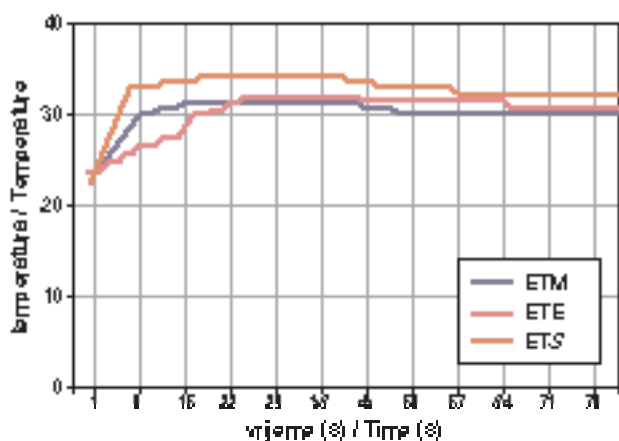
Table 3. Difference in temperature rise in relation to the composite material (t-test for independent variables).

| Polimerizacijski program / Polymerization mode | Vrijeme / Time | Kompozitni materijal / Composite material | Srednja vrijednost / Mean value (°C) | df | p |
|--|---|---|--------------------------------------|----|-------|
| ETM | 10 s | F | 7,80 | 18 | <0,05 |
| | | TC | 8,70 | | |
| | Kraj polimerizacije / End of polymerization | F | 9,70 | 18 | 0,247 |
| | | TC | 10,20 | | |
| ETE | 10 s | F | 7,00 | 18 | <0,05 |
| | | TC | 4,80 | | |
| | Kraj polimerizacije / End of polymerization | F | 8,50 | 18 | <0,05 |
| | | TC | 11,60 | | |
| ETS | 10 s | F | 7,60 | 18 | <0,05 |
| | | TC | 12,20 | | |
| | Kraj polimerizacije / End of polymerization | F | 14,70 | 18 | 0,574 |
| | | TC | 14,90 | | |

Legenda / Legend:

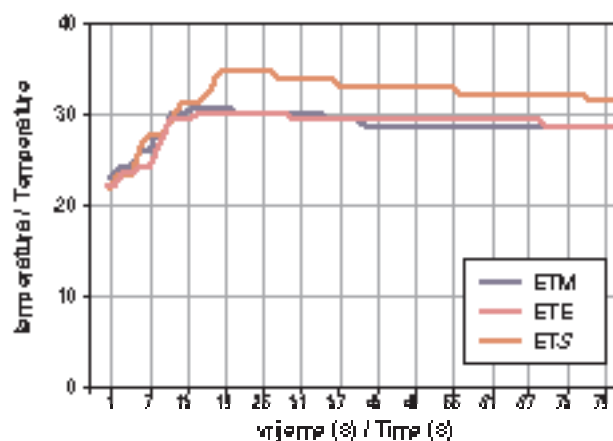
df - Stupanj slobode / Degree of freedom

p - Razina znatnosti / Significant level



Slika 1. Temperaturni porast kod uzorka Tetric Ceram kompozitnoga materijala tijekom svake sekunde osvjetljavanja (ispis mjerenja za jedan uzorak)

Figure 1. Temperature rise in Tetric Ceram composite material during each second of polymerization (print out of measuring for one sample).



Slika 2. Temperaturni porast kod uzorka Filtek Z250 kompozitnoga materijala tijekom svake sekunde osvjetljavanja (ispis mjerenja za jedan uzorak)

Figure 2. Temperature rise in Filtek Z250 composite material during each second of polymerization (print out of measuring for one sample).

Rasprava

Jedan od negativnih učinaka polimerizacije kompozitnih materijala jest neminovni porast temperature uzrokovan toplinom kemijske reakcije koja se odvija u samome materijalu tijekom procesa stvrdnjavanja s jedne strane, te toplinom zbog emitiranoga svjetla određene valne duljine, s druge strane. Budući da halogene žarulje za polimerizaciju kompozitnoga materijala emitiraju širok spektar valnih duljina, u njih su ugrađeni filtri za otklanjanje nepotrebnih valnih duljina emitiranjem kojih se stvara nepotreban porast temperature. Toplinska energija izvora svjetla i energija zbog kemijske reakcije u materijalu može biti štetna za pulpno tkivo, pa je zato nužno eliminirati nepotrebne valne duljine iznad 500 nm (10, 11). Potrebno je zato, osim redovite kontrole jakosti izlaznog intenziteta radiometrom, redovito nadzirati i filtre tih žarulja kako ne bi nastalo veće štetno zagrijavanje kompozitnoga materijala, jer halogenu žarulju nije moguće hladiti. Temperaturni porast pokazao se ovisnim o djelotvornosti filtra halogene žarulje, zapravo sposobnosti reduciranja proizvedene topline pri većim valnim duljinama (većim od 500 nm). Kod neadekvatnih filtara bilježi se porast temperature od 18,5 - 21,2°C u usporedbi s filterima kojih je funkcija zadovoljavajuća, to jest porast temperature s njima se kreće u intervalu od 12,1 do 13,1°C pri osvjetljavanju halogenom žaruljom (12, 13).

Iz rezultata provedenog eksperimenta vidi se da intenzitet izvora svjetla utječe na porast temperature tijekom stvrdnjavanja kompozitnoga materijala. Pokazalo se je da ETE program zbog nižega intenziteta u prvim sekundama osvjetljavanja uzrokuje manji porast temperature (TC $4,80 \pm 0,91$; F $7,0 \pm 0,66$ nakon 10 sekundi) u usporedbi s ETM (TC $8,7 \pm 0,82$; F $7,8 \pm 0,91$) i ETS programom polimerizacije (TC $12,2 \pm 0,91$; F $7,6 \pm 0,84$). Na porast temperature tijekom stvrdnjavanja utjecaj ima i sastav kompozitnoga materijala. I TC i F su po svojoj strukturi fino-zrnati hibridni kompozitni materijali veličine čestica 0,04-3 μm za TC i 0,01-3,5 μm za F. Udio anorganskoga punila kod TC iznosi 50% vol, a kod F 60% vol. Razlika je u sastavu organske matrice: dok TC u svom sastavu ima Bis GMA, UDMA i TEGDMA, F umjesto TEGDMA ima Bis-EMA. Bis-GMA osnovna je sastavnica organske matrice, no budući da je jako viskozna, dodaju joj se razrjeđivači kako bi joj se smanjila viskoznost i omogućilo što bolje punjenje anorganskom fazom. Viskoznost organske matrice utječe na brzinu stvrdnjavanja kompozitnoga materijala i to upravo proporcionalno. BisEMA, sadržana u F kompozitnom materijalu, viskoznija je te pridonosi bržoj polimerizaciji materijala. S ovim se može povezati približno isti temperaturni porast za TC koji se polimerizira 40 i F koji se polimerizira 20 sekundi, s izvorima svjetla kontinuiranog intenziteta, u ovom slučaju ETM (TC $10,2 \pm 0,91$; F $9,7 \pm 0,94$) i ETS programom (TC

14,9±0,73; F 14,7± 0,82) (tablice 1-3, slike 1 i 2). No kod nižega početnog intenziteta (ETE program), vidi se razlika u porastu temperature tijekom prvih 10-15 sekundi.

Istraživanja Pila i suradnika (12) potvrđuju ova naša ispitivanja, a slične rezultate dobio je i Sakaguchi (14). Prema navedenim autorima brz porast temperature događa se u prvih 20 sekundi, što se vidi i iz priloženih slika (1 i 2), i doseže vrh oko 50-te sekunde. Osvjetljavanje duže od 50 sekundi ne dovodi do porasta temperature iznad 14,4°C, ali povećava ukupnu apliciranu energiju na zub, odnosno ukupno zagrijavanje zuba.

Najveći porast temperature prema nekim autorima događa se upravo pri polimerizaciji prvoga sloja kompozitnoga materijala, pa bi u dubokom kavitetu polimerizacijski program izbora bio upravo onaj s nižim početnim intenzitetom koji će ujedno inducirati i manji porast temperature (9, 15). No tu se javlja pitanje dostatnog stvrdnjavanja prvoga sloja kompozitnoga materijala u najdubljim dijelovima kaviteta, jer uz niži intenzitet polimerizacijskog programa treba uzeti u obzir i opadanje jakosti intenziteta svjetla s udaljenošću izvora svjetla od sloja kompozitnoga materijala na dnu kaviteta.

Kako se dubina polimerizacije ne može kompenzirati produljenim vremenom osvjetljavanja, preporučuje se postavljati kompozitni materijal u slojevima radije nego u jednom sloju s produženim vremenom ekspozicije što bi moglo uzrokovati znatan porast temperature u pulpnome tkivu (16, 17). Budući da je vrlo teško odrediti ponašanje pojedinoga kompozitnog materijala tijekom stvrdnjavanja, jer proizvođač često ne navodi točan udio pojedinih sastavnica kompozitnoga materijala, na kliničaru je da pravilnim izborom izvora svjetla za polimerizaciju te pravilnom tehnikom aplikacije kompozita (slojevita tehnika) nastoji što više umanjiti štetan učinak temperature na vitalno zubno tkivo, iako će još uvijek ostati pitanje hoće li oštećenje pulpnoga tkiva češće nastati zbog temperaturnoga porasta tijekom polimerizacije, zbog skupljanja materijala s posljedničnim nastankom mikropukotine s mikropropuštanjem i prodorom bakterija, ili zbog utjecaja neizreagiranih sastavnica kompozitnoga materijala nakon završetka procesa polimerizacije.

Zaključak

Porast temperature u uzorku kompozitnoga materijala ovisan je o intenzitetu svjetla uređaja za polimerizaciju. Najveći temperaturni porast zabilježen je tijekom osvjetljavanja polimerizacijskim programom najvećeg intenziteta (ETS), a najniži je temperaturni porast zabilježen kod polimerizacije uzoraka kompozitnih materijala ETE programom nakon 10 sekundi i ETM programom nakon 40 sekundi osvjetljavanja TC, te ETE programom nakon 20 sekundi polimerizacije F kompozitnoga materijala.

Literatura

- 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.
- TARLE Z, MENIGA A, RISTIC M, SUTALO J, PICHLER G, DAVIDSON CL. The effect of the photopolymerization method on the quality of composite resin samples. *J Oral Rehabil* 1998; 25: 436-42.
- MASUTANI S, SETCOS JC, SCHNELL RJ, PHILLIPS RW. Temperature rise during polymerization of visible light activated composite resins. *Dent Mater* 1988; 4: 174-9.
- STRANG R, PATTERSON CJW, McLUNDIE AC, CUMMINGS A, SMAIL SRJ. *In vitro* temperature rises produced by five polymerising light sources. *Res Dent* 1988; 4: 33-5.
- LONEY RW, PRICE RBT. Temperature transmission of high-output light curing units through dentin. *Oper Dent* 2001, 26: 516-20.
- CHAMPS J, DEJOU J, TEMUSAT M, ABOUT I. Factors influencing pulpal response to cavity restorations. *Dent Mater* 2000; 16: 432-40.
- MURRAY PE, ABOUT I, FRANQUIN JC, REMUSAT M, SMITH AJ. Restorative pulpal and repair responses. *J Am Dent Assoc* 2001; 132: 482-91.
- ZACH L, COHEN G. Pulp response to external applied heat. *Oral Sur Oral Med Oral Path* 1965; 19: 515-30.
- KNEŽEVIĆ A. Mjerenje skupljanja kompozitnih materijala uporabom digitalne holografske interferometrije. Zagreb: Stomatološki fakultet 2002. Disertacija.
- BOUILLAGUET S, CIUCCHI B, HOLZ J. Potential risks for pulp irritation with contemporary adhesive restorations. An overview. *Acta Med Dent Helv.* 1996; 1: 235-43.
- TARLE Z, KNEZEVIC A, MENIGA A, SUTALO J, PICHLER G. Temperature rise in composite samples cured by blue superbright light emitting diodes (abstr.) *J Dent Res.* 1998; 77: 686.

12. PILO R, OELGIESSER D, CARDASH HS. A survey of output intensity and potential for depth of cure among light curing units in clinical use. *J Dent* 1999; 27: 235-41.
13. HUSSEY DL, BIAGIONI PA, LAMEY PJ. Thermographic measurement of temperature change during resin composite polymerization in vivo. *J Dent* 1995; 23: 267-71.
14. SAKAGUCHI RL, DOUGLAS WH, PETERS MC. Curing light performance and polymerization of composite restorative materials. *J Dent* 1992; 20: 183-8.
15. KNEZEVIC A, TARLE Z, MENIGA A, SUTALO J, PICHLER G, RISTIC M. Degree of conversion and temperature rise during polymerization of composite resin samples with blue diodes. *J Oral Rehabil* 2001; 28: 586-91.
16. PORKO C, HIETALA EL. Pulpal temperature change with visible light curing. *Oper Dent* 2001; 26: 181-5.
17. STEWARDSON DA, SHORTALL ACC, HARRINGTON E, LUMELY PJ. Thermal changes and cure depths associated with a high intensity light activation unit. *J Dent* 2004; 32: 643-51.