

Utjecaj intenziteta svjetla za polimerizaciju na stupanj konverzije kompozitnih materijala (I dio)

Alena Knežević¹
Zrinka Tarle¹
Mira Ristić²
Iva Alajbeg³

¹Zavod za dentalnu patologiju
Stomatološkog fakulteta
Sveučilišta u Zagrebu
²Institut "Rudjer Bošković",
Zagreb
³Zavod za mobilnu protetiku
Stomatološkog fakulteta
Sveučilišta u Zagrebu

Sažetak

Stupanj konverzije kompozitnih materijala tijekom polimerizacije važan je čimbenik koji utječe na kakvoću i dugotrajnost kompozitnog ispuna. Osim sastava kompozitnoga materijala na stupanj konverzije uvelike utječu i značajke izvora svjetla za polimerizaciju i vrijeme osvjetljavanja. Svrha rada bila je pokazati utjecaj triju polimerizacijskih programa različita intenziteta (srednji, eksponencijski i standardni program) Elipar Trilight halogene žarulje (ESPE, Seefeld, Germany) na uzorcima Tetric Ceram (Vivadent, Schaan, Liechtenstein) i Filtek Z 250 (3M Dental Products, St. Paul, MN) kompozitnog materijala na površini i dubini od 2 mm. Za mjerenja stupnja konverzije rabljena je Fourier transform infracrvena spektroskopija (FTIR). Rezultati mjerenja stupnja konverzije pokazali su da je najveći stupanj konverzije postignut s izvorom svjetla najvećeg intenziteta te da je stupanj konverzije veći na površini nego na dubini od 2 mm, bez obzira na kompozitni materijal i intenzitet svjetla za polimerizaciju.

Ključne riječi: kompozitni materijali, izvor svjetla za polimerizaciju, stupanj konverzije.

Acta Stomat Croat
2005; 427-434

IZVORNI ZNANSTVENI
RAD
Primitljeno: 25. travnja 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

Svjetlosnopolimerizirajuće kompozitne smole stvrdnjavaju se vidljivim svjetlom u području valnih duljina od 400 do 500 nm. Polimerizacija kompozitnih smola ovisi o mnogim čimbenicima među kojima su važne apsorpcija i disperzija svjetla u samome materijalu, boja i opaknost kompozitnoga materijala, vrsta i udio te veličina čestica anorganske faze, organski sastav materijala, koncentracija i vrsta fotoinicijator,

intenzitet emitirane svjetlosti i vrijeme polimerizacije (1).

Neke studije pokazale su da tamne nijanse kompozitnoga materijala imaju niži stupanj konverzije od svijetlih nijansi (2). Nasuprot tome, Ferracane i suradnici (3) pokazali su da je stupanj konverzije svjetlosnopolimerizirajućih kompozitnih materijala tamnih nijansi jednak stupnju konverzije kompozitnih materijala svijetlijih nijansi to jest da stupanj konverzije manje ovisi o samoj boji, a više o translucenciji samoga materijala.

Dostatna polimerizacija kompozitnoga materijala ključan je čimbenik za dugotrajnost i kakvoću kompozitnog ispuna. Nedostatna polimerizacija, bilo da se radi o debljemu sloju kompozita ili neadekvatnom izvoru svjetla, za posljedicu ima nisku konverziju monomera u polimer s većim udjelom neizreagiranih dvostrukih sveza, što umanjuje fizička svojstva ispuna, povećava apsorpciju vode i topivost te uzrokuje diskoloraciju ispuna.

Nasuprot tome, polimerizacija kompozitnoga materijala polimerizatorima visokog intenziteta dostatno će stvrdnuti kompozitni materijal, ali može dovesti do većeg polimerizacijskog skupljanja te do stresa i mikropukotine nastale zbog skupljanja i do većega porasta temperature, a to može ugroziti vitalitet pulpe (4).

Jakost halogene žarulje teško se može odrediti na osnovi intenziteta sjaja plavoga svjetla na izlazu iz optičkog voda. Tvrdća površine ispuna, koja se često rabi u kliničkoj praksi kao subjektivni parametar za ocjenu polimerizacije kompozitnih materijala, također nije valjan parametar. Naime, ispitivanja su pokazala da će slabije i jače svjetiljke jednako dobro stvrdnuti površinu ispuna, a razlike će se tek vidjeti u dubljim slojevima gdje će kod svjetiljki slabijeg intenziteta slojevi dublji od 2 mm biti gotovo nepolimerizirani (5).

Stupanj konverzije kompozitnih materijala može se mjeriti izravnim i neizravnim postupcima. Neizravni postupci obuhvaćaju "scraping" (struganje) i površinsku tvrdoću, a u izravne metode spadaju infracrvena spektroskopija i laser Raman spektroskopija. Izravne metode se za razliku od neizravnih mnogo rjeđe primjenjuju jer su skuplje, kompleksnije i zahtijevaju mnogo više vremena. Stupanj konverzije izmjeren spomenutim postupcima kreće se u prosjeku od 43,5 do 73,8% (5,6).

Svrha rada bila je odrediti stupanj konverzije Fourier Transform Infracrvenom Spektrofotometrijom (FTIR) dvaju kompozitnih materijala na površini i na dubini od 2 mm pri polimerizaciji halogenom žaruljom s tri polimerizacijska programa različita intenziteta.

Materijali i postupci

U ispitivanju 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 čije valne duljine emitiranoga svjetla obuhvaćaju područje valnih duljina od 400 - 515 nm. Elipar Trilight žarulja ima tri polimerizacijska programa:

1. "medium mode" (program srednjeg intenziteta) (ETM) - jednoliki intenzitet svjetla od 450 mW/cm²;
2. "exponential mode" (eksponencijski program) (ETE) - osvjetljavanje počinje s jakošću od 100 mW/cm², postupno raste tijekom 15 sekundi do vrijednosti od 800 mW/cm² i tu vrijednost zadržava do isteka 40. sekunde;
3. "standard mode" (standardni program) (ETS) - jednoliki intenzitet svjetla od 800 mW/cm².

Za mjerenje stupnja konverzije pripravljeno je ukupno 120 uzoraka. Za polimerizaciju s pojedinim izvorom svjetlosti priređeno je po deset uzoraka za svaki izvor svjetlosti kako za TC, tako i za F što je iznosilo ukupno po 30 uzoraka po pojedinom materijalu za površinu i po 30 uzoraka po pojedinome materijalu za dubinu od 2 mm. Uzorci polimerizirani s ETM programom bili su kontrolna skupina.

Nepolimerizirani uzorak kompozitnoga materijala stavljen je između dviju celuloidnih Mylar folija (veličine 2x2 cm) i stlačen između dviju inox ploča (promjera 2 cm) u ručnoj preši pod tlakom od 107 pa do debljine 0,1 mm.

Za mjerenja stupnja konverzije na površini na tako pripremljen uzorak nepolimeriziranoga materijala smještenog između dviju folija priljubljen je izvor plavoga svjetla uz gornju foliju i polimeriziran (40 sekundi TC, 20 sekundi F).

Za mjerenja na dubini od 2 mm napravljeni su nadslojevi debljine 2 mm za svaki materijal posebno: nepolimerizirani uzorak kompozitnoga materijala stavljen je u inox prsten (promjera 1 cm) debljine 2 mm prekriven Mylar folijom s gornje i donje strane te sprešan u ručnoj preši između dviju inox ploča do debljine 2 mm. Tako pripremljen nadsloj polimeriziran je u Spectramatu PM 1831 (Ivoclar/Vivadent, Schaan, Liechtenstein), uređaju za polimerizaciju zubnih materijala koji emitira plavo svjetlo niskoga intenziteta, pa je zato nadsloj kompozitnoga materijala polimeriziran po dvije minute sa svake strane.

Nakon toga, za mjerenja na dubini od 2 mm, na nepolimerizirani uzorak kompozitnoga materijala, pripremljen na isti način kao i za potrebe mjerenja stupnja konverzije na površini uzorka, postavljen je nadsloj debljine 2 mm te je na njega prislonjen izvor svjetlosti. Uzorci su osvijetljeni na isti način kao i kod mjerenja stupnja konverzije na površini, te su mjereni nakon polimerizacije i odvajanja od Mylar folije (7, 8).

Za određivanje stupnja konverzije snimljeni su FTIRom spektri polimeriziranih uzoraka i spektar po jednog nepolimeriziranih uzoraka TC i F kompozitnoga materijala potrebnog kao parametar pri izračunavanju stupnja konverzije. FTIR spektri svih uzoraka snimljeni su pri sobnoj temperaturi i rezoluciji 4 cm⁻¹ s 20 ponovljenih snimanja po uzorku Perkin-Elmer spektrometrom (model 2000) (Beaconsfield, Bucks, UK). Snimanja i obradba apsorpcijskih spektara obavljena su s pomoću IRDM programa (Infrared Data Manager). Za izračunavanje stupnja konverzije primijenjen je postupak prema

Rueggebergu (9). Na temelju alifatsko/aromatskih molarnih omjera apsorbancije polimeriziranog (P) i nepolimeriziranog (N) uzorka izračunan je stupanj konverzije s pomoću sljedeće formule (9):

$$\% \text{ konverzije} = (1 - P/N) \times 100 \%$$

Za statističku obradbu podataka uporabljena je deskriptivna statistika, ANOVA i Post-hoc test za razlike u stupnju konverzije s obzirom na izvor svjetlosti, t-test za zavisne uzorke za razlike u stupnju konverzije na površini i dubini od 2 mm, te t-test za nezavisne uzorke za razlike u stupnju konverzije s obzirom na ispitivani kompozitni materijal.

Rezultati

Rezultati mjerenja stupnja konverzije dobiveni statističkom obradbom podataka prikazani su u tablici 1-3. Stupanj konverzije za ispitivane kompozitne materijale kreće se u intervalu od 61 do 69%

Tablica 1. Rezultati mjerenja stupnja konverzije s obzirom na polimerizacijski program

Table 1. Results of the degree of conversion measurements with regard to the polymerization mode.

		Deskriptivna statistika / Descriptive statistics						Razlike u stupnju konverzije s obzirom na polimerizacijski program (ANOVA) / Difference in degree of conversion in relation to polymerization mode (ANOVA)	
Kompozitni materijal / Composite material		Polimerizacijski program / Polymerization mode	N	Sr. vrijednost (%) / Mean value (%)	St. dev .	min.	max.	F	p
F	Površina / Surface	ETM	10	64,159	0,55975	63,21	65,01	38,325	<0,05
		ETE	10	62,353	0,68268	61,3	62,99		
		ETS	10	64,674	0,61934	63,25	65,32		
	2 mm	ETM	10	60,201	0,29187	59,69	60,69	40,858	<0,05
		ETE	10	59,26	1,27986	57,36	61,56		
		ETS	10	62,498	0,56021	61,39	63,02		
TC	Površina / Surface	ETM	10	68,773	0,29299	68,26	69,05	196,466	<0,05
		ETE	10	65,193	0,46188	64,39	66,01		
		ETS	10	69,09	0,64502	67,69	69,63		
	2 mm	ETM	10	64,302	0,3004	63,92	65,01	27,803	<0,05
		ETE	10	64,334	0,58035	63,28	65,03		
		ETS	10	65,602	0,4077	64,98	66,01		

Legenda / Legend:

F - F vrijednost / F value

p - Razina znatnosti / Significant level

N - Broj uzoraka / Number of samples

kod polimerizacije uzoraka na površini te od 57 do 66% kod polimerizacije uzoraka kompozitnih materijala na dubini od 2 mm.

ANOVA i Post-hoc testovi uporabljeni su za promatranje razlika u stupnju konverzije s obzirom na polimerizacijski program pojedinačno za materijale F i TC (tablica 1). 1.) Kada je uporabljen materijal F, pokazalo se da postoje razlike u stupnju konverzije s obzirom na polimerizacijski program i na površini i na dubini od 2 mm, no valja napomenuti da je najveći stupanj konverzije i na površini i na dubini od 2 mm utvrđen za ETS program, a najmanji za ETE program. Post-hoc Scheffe testom nisu utvrđene razlike na površini između ETM i ETS ($p > 0,05$), a na dubini od 2 mm između ETM i ETE ($p > 0,05$). 2.) Kada je uporabljen materijal TC, također se je pokazalo da postoje razlike u stupnju konverzije s obzirom na polimerizacijski program. Post-hoc Scheffe testom nisu utvrđene razlike na površini samo između programa ETM i ETS ($p > 0,05$). Na dubini od 2 mm nisu pronađene razlike između ETM i ETE ($p > 0,05$). Za TC također je najveći stupanj konverzije pronađen za ETS program. Najmanji je stupanj konverzije na površini pronađen kada je primijenjen ETE program, a na dubini od 2 mm kada je primijenjen ETM polimerizacijski program.

Također su se t-testom za nezavisne uzorke promatrala razlike u stupnju konverzije s obzirom na pojedini kompozitni materijal (tablica 2). 1.) Kod ETM polimerizacijskoga programa pronađene su razlike u stupnju konverzije između dvaju upotrijebljenih materijala i na površini ($p < 0,05$) i na dubini od 2 mm ($p < 0,05$), a stupanj konverzije na objema dubinama imao je TC. 2.) Kod ETE polimerizacijskoga programa pronađene su razlike u stupnju konverzije između dvaju upotrijebljenih materijala i na površini i na dubini od 2 mm ($p < 0,05$), a veći je stupanj konverzije na objema dubinama imao TC. 3.) Kod ETS polimerizacijskoga programa pronađene su razlike u stupnju konverzije između dvaju upotrijebljenih materijala i na površini i na dubini od 2 mm ($p < 0,05$), a veći je stupanj konverzije na objema dubinama imao TC.

Promatrane su i razlike u stupnju konverzije između površine i dubine od 2 mm pojedinačno za materijale F i TC i to pri polimerizaciji iz svih triju polimerizacijskih programa t- testom za zavisne uzorke (tablica 3). 1.) Kod F kompozitnoga materijala pri polimerizaciji sa svima trima polimerizacijskim programima pokazalo se je da postoje razlike ($p < 0,05$) u stupnju konverzije između površine i dubine od 2 mm (veći stupanj konverzije uvijek je bio na površini). 2.) Za TC kompozitni materijal pri

Tablica 2. Razlike u stupnju konverzije s obzirom na kompozitni materijal (t-test za nezavisne uzorke)

Table 2. Difference in the degree of conversion regarding composite material (t-test for independent variables)

Polimerizacijski program / Polymerization mode		Kompozitni materijal / Composite materials	Sr. vrijednost (%) / Mean value (%)	df	p
ETM	Površina / Surface	F	64,159	18	<0,05
		TC	68,773		
	2 mm	F	60,201	18	<0,05
		TC	64,302		
ETE	Površina / Surface	F	62,353	18	<0,05
		TC	65,193		
	2 mm	F	59,26	18	<0,05
		TC	64,334		
ETS	Površina / Surface	F	64,674	18	<0,05
		TC	69,09		
	2 mm	F	62,498	18	<0,05
		TC	65,602		

Legenda / Legend:

df - Stupnjevi slobode / Degree of freedom

p - Razina znatnosti / Significant level

polimerizaciji sa svim trima programima pokazalo se da postoje razlike u stupnju konverzije između površine i dubine od 2 mm ($p < 0,05$). Veći stupanj konverzije, kao i kod F, uvijek je bio na površini.

Na slikama 1-4 prikazani su spektri polimerizacijskoga dosegaja kompozitnih materijala pri polimerizaciji sa svima trima polimerizacijskim programima na površini i na dubini od 2 mm.

Tablica 3. Razlike u stupnju konverzije na površini i dubini od 2 mm (t-test za zavisne uzorke)

Table 3. Difference in the degree of conversion on the surface and at 2 mm (t-test for dependant variables).

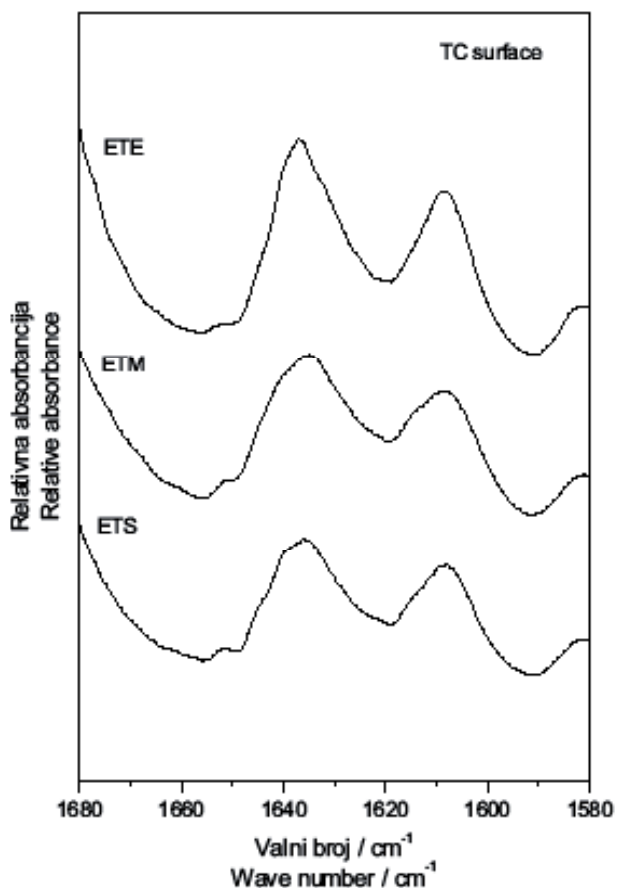
Kompozitni materijal / Composite material	Polimerizacijski program / Polymerization mode		t	df	p
F	ETM	Površina / Surface - 2 mm	21,258	9	<0,05
	ETE	Površina / Surface - 2 mm	6,33	9	<0,05
	ETS	Površina / Surface - 2 mm	8,075	9	<0,05
TC	ETM	Površina / Surface - 2 mm	28,788	9	<0,05
	ETE	Površina / Surface - 2 mm	3,805	9	<0,05
	ETS	Površina / Surface - 2 mm	16,432	9	<0,05

Legenda / Legend:

t - t vrijednost / t value

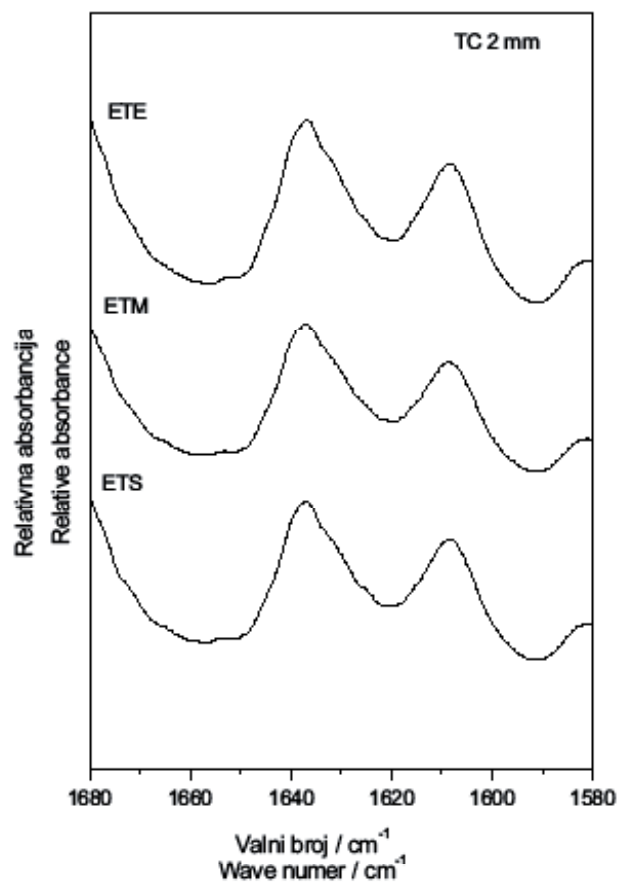
df - Stupnjevi slobode / Degree of freedom

p - Razina znatnosti / Significant level



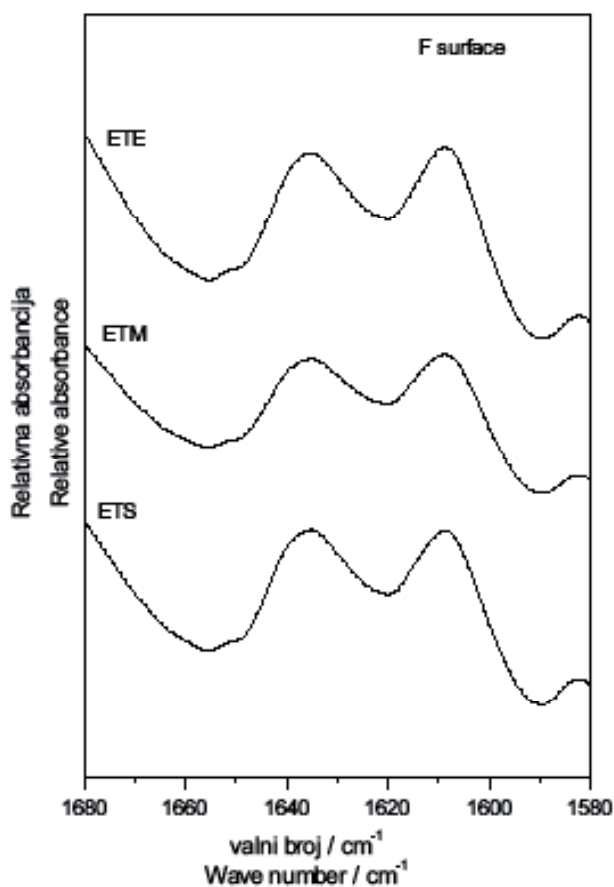
Slika 1. Spektri polimerizacijskoga dosegaja Tetric Ceram kompozitnoga materijala na površini

Figure 1. Polymerization spectra for Tetric Ceram composite material on the surface.



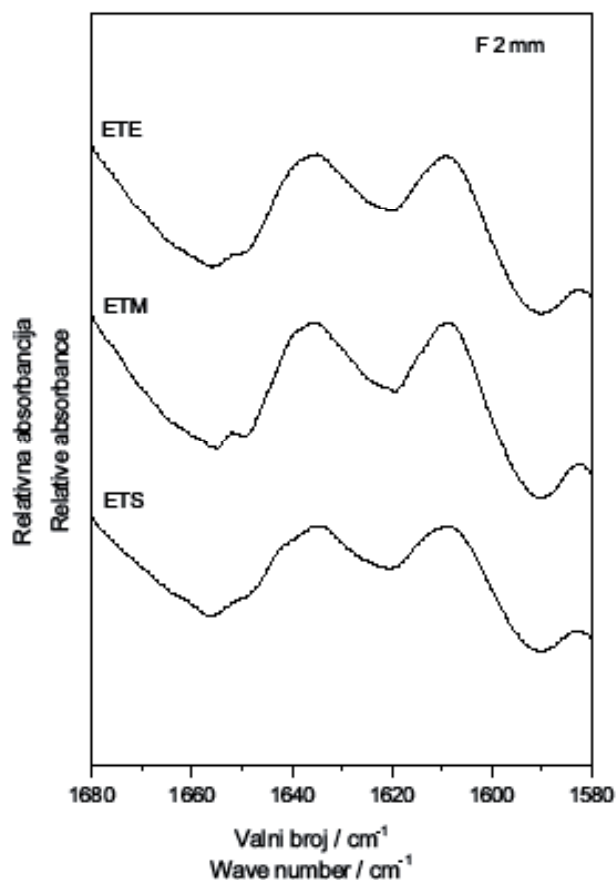
Slika 2. Spektri polimerizacijskoga dosegaja Tetric Ceram kompozitnoga materijala na dubini od 2 mm

Figure 2. Polymerization spectra for Tetric Ceram composite material at 2 mm depth.



Slika 3. Spektri polimerizacijskoga doseg Filtek Z250 kompozitnoga materijala na površini

Figure 3. Polymerization spectra for Filtek Z250 composite material on the surface.



Slika 4. Spektri polimerizacijskoga doseg Filtek Z250 kompozitnoga materijala na dubini od 2 mm

Figure 4. Polymerization spectra for Filtek Z250 composite material at 2 mm depth.

Rasprava

Jakost izlaznoga svjetla može biti znatno oslabljena pod utjecajem različitih čimbenika: varijacijama u električnom napajanju, oštećenim ili uprljanim filtrima, oštećenjem i starošću svjetlovoda, oštećenjem reflektora, lomom fibro-optičkog vlakna, optovanim punjenjima bez prethodnoga potpunog praznjenja (akumulatorske baterije), prekidom osvjetljavanja prije isteka baždarenoga vremenskog intervala, oštećenjem ili onečišćenjem tubusa te njegovim oštećenjem dezinfekcijskim sredstvima, autoklaviranjem i sl. (10).

Transmisija ili prolaz svjetla kroz kompozitni materijal te raspršenje i lom svjetla koje nastaje pri takvu prolazu fenomeni su uvjetovani sastavom materijala, a znatno utječu na dubinu prodora svjetla te time na stupanj konverzije i dubinu polimerizacije

kompozita. Što je veće raspršenje, to je manji prolaz svjetla u dublje dijelove materijala. Transmisija svjetla kroz kompozitni materijal raste kako raste valna duljina od 400 do 700 nm, a raspršenje raste smanjivanjem valne duljine. Kako svjetlo prolazi kroz kompozitni materijal, raspršuje se na malim česticama punila te time reducira prodor svjetla. Manja transmisija svjetla na manjim valnim duljinama može biti uzrokovana većim raspršenjem svjetla u materijalu. Da bi se izbjeglo raspršenje i apsorpcija svjetla u materijalu najbolje bi bilo imati materijal s približno istim refrakcijskim indeksom organske matrice i punila, i ne s prevelikim razlikama u veličini i distribuciji čestica anorganskoga punila (1, 2).

Stupanj konverzije ovisan je o intenzitetu svjetla za polimerizaciju (11, 12). Na površini kompozitnoga materijala gdje nema nikakva nadsloja koji bi interferirao s transmisijom svjetla, ustanovljeno

je da čak i izvori svjetla razmjerno niskog intenziteta mogu doseći stupanj konverzije jednak onome pri polimerizaciji s visokim intenzitetom (13, 14). To potvrđuju i naši rezultati u kojima se vidi da su veća odstupanja i razlike u stupnju konverzije pri polimerizaciji uzoraka kompozitnoga materijala debljine 2 mm. Naime, u literaturi se navodi da za polimerizaciju na površini dominantan čimbenik nije jakost svjetiljke nego vrijeme ekspozicije. Nasuprot tome, na dubini od 2 ili 3 mm su debljina, vrijeme ekspozicije, intenzitet svjetla i njihova interakcija čimbenici koji utječu na polimerizaciju kompozitnoga materijala (15).

U ovom istraživanju polimerizacijski program najjačeg intenziteta, ETS, pokazao je najveći stupanj konverzije za oba ispitivana materijala na površini (TC 69,09%, F 64,67%) i na dubini od 2 mm (TC 65,60%, F 62,49%). Zanimljivo je da je kod osvjetljavanja ETM programom za TC (68,77%) dobiven veći stupanj konverzije nego kod osvjetljavanja TC ETE programom na površini (65,19%), dok su rezultati na dubini od 2 mm gotovo jednaki. Za F kompozitni materijal, budući da se osvjetljava prema preporuci proizvođača 20 sekundi, bolji su rezultati postignuti pri osvjetljavanju s ETM programom na površini (64,15%) nego s ETE programom (62,35%), što je i za očekivati jer ETE program ima vrlo nizak početni intenzitet (100 mW/cm²) u odnosu prema ETM programu.

Unterbrink i Muessner (16) te Uno i Asmussen (17) preporučuju uporabu svjetiljki nižega početnog intenziteta što bi osiguralo sporiju polimerizaciju, duže lance molekula s većom mogućnošću otjecanja materijala tijekom stvrdnjavanja. Pokazali su da kompozitni materijali polimerizirani na takav način postižu dostatan stupanj konverzije s boljim svojstvima nego materijali polimerizirani jačom svjetiljkom i kraćim vremenom ekspozicije (18).

Nedostatan polimeriziran kompozitni materijal smanjuje kliničku vrijednost i dugotrajnost ispuha, a zbog nedovoljne monomer-polimer konverzije neizreagirane sastavnice mogu biti toksične za pulpu i okolno zubno tkivo. Citotoksičnost monomera opada tijekom polimerizacije i nakon potpune polimerizacije postaje netoksičan. Zato se taj razlog kao mogući iritans pulpe danas gotovo isključuje, a u prvi plan dolazi prodor mikroorganizama kroz mikropukotinu nastalu zbog polimerizacijskog sku-

pljanja i razvoj temperature koja nastaje tijekom procesa polimerizacije i to zbog topline izvora svjetla, s jedne strane, te zbog dinamičnosti kemijske reakcije u samome materijalu, s druge strane (19).

Na kliničaru je dakle da pravilnim izborom polimerizacijskoga uređaja (programa) osigura dostatnu polimerizaciju kompozitnoga materijala s najvećim mogućim smanjenjem neželjenih učinaka polimerizacijskoga procesa.

Zaključak

Rezultati ispitivanja pokazali su da je:

1. stupanj konverzije veći kod polimerizacije kompozitnih materijala izvorom svjetla većeg intenziteta: najveći stupanj konverzije postignut je s ETS polimerizacijskim programom i na površini i dubini od 2 mm za oba ispitivana kompozitna materijala;
2. stupanj konverzije veći na površini nego na dubini od 2 mm bez obzira na upotrijebljeni kompozitni materijal i na jakost svjetla.

Literatura

1. HALVORSON RH, ERICKSON RL, DAVIDSON CL. An energy conversion relationship predictive of conversion profiles and depth of cure for resin-based composites. *Oper Dent* 2003; 28: 307-14.
2. NOMOTO R, McCABE JF, HIRANO S. Comparison of halogen, plasma and LED curing unit. *Oper Dent* 2004; 29: 287-94.
3. FERRACANE JL, ADAY P, MATSUMOTO H, MARKER VA. Relationship between shade and depth of cure for light-activated dental composite resins. *Dent Mater* 1986; 2: 80-4.
4. SOH MS, YAP AUJ, SIOW KS. Comparative depths of cure among various curing light types and methods. *Oper Dent* 2004; 29: 9-15.
5. HALVORSON RH, ERICKSON RL, DAVIDSON CL. Polymerization efficiency of curing lamps: A universal energy conversion relationship predictive of conversion of resin-based composite. *Oper Dent* 2004; 29: 105-11.
6. KNEŽEVIĆ A, TARLE Z, MENIGA A, ŠUTALO J, PICHLER G, RISTIĆ M. Degree of conversion and temperature rise during polymerization of composite resin samples with blue diodes. *J Oral Rehabil* 2001; 28: 586-91.
7. KNEŽEVIĆ A. Polimerizacija kompozitnih smola plavim visokosjajnim svijetlećim diodama. Zagreb: Stomatološki fakultet 1999. Magistarski rad.

8. KNEŽEVIĆ A. Mjerenje skupljanja kompozitnih materijala uporabom digitalne holografske interferometrije. Zagreb: Stomatološki fakultet 2002. Disertacija.
9. RUEGGERBERG TA, HASHINGER DT, FAIRURST CW. Calibration of FTIR conversion analysis of contemporary dental resin composites. *Dent Mater* 1990; 6: 241-5.
10. MENIGA A, KNEZEVIC A, TARLE Z, SUTALO J, PICHLER G. The efficiency of different light sources for composite curing (abstract). *J Dent Res* 1999; 78: 395.
11. LANE DA, WATTS DC, WILSON NHF. Ambient light working times of visible light cured restorative materials. Does the ISO standard reflect clinical reality? *Dent Mater* 1998; 14: 353-7.
12. ARIKAWA H, FUJII K, KANIE T, INOUE K. Light transmittance characteristics of light-cured composite resins. *Dent Mater* 1998, 14: 405-11.
13. CORRER-SOBRINHO L, LIMA AA, CONSANI S, SINO-HORETI MAC, KNOWLES JC. Influence of curing tip distance on composite Knoop hardness values. *Braz Dent J* 2000; 11: 11-7.
14. SILIKAS N, ELIADES G, WATTS DC. Light intensity effects on resin-composite degree of conversion and shrinkage strain. *Dent Mater* 2000; 16: 292-6.
15. RUEGGERBERG FA, CAUGHMAN WF, CURTIS JW. Effect of light intensity and exposure duration on cure of resin composites. *Oper Dent* 1994; 19: 26-32.
16. UNTERBRINK GL, MUESSNER R. Influence of light intensity on two restorative systems. *J Dent* 1995; 23: 183-9.
17. UNO S, ASMUSSEN E. Marginal adaptation of a restorative resin polymerized at reduced rate. *Scand J Dent Res* 1991; 99: 440-4.
18. YAP AUJ, SOH MS, SIOW KS. Effectiveness of composite cure with pulse activation and soft-start polymerization. *Oper Dent* 2002; 27: 44-9.
19. QUINLAN CA, ZISTER DM, TIPTON KF, O'SULLIVAN MI. In vitro cytotoxicity of a composite resin and compomer. *Int Endod J* 2002; 35: 47-55.