

Η επίδραση της απόχρωσης στο βάθος πολυμερισμού μιας σύγχρονης σύνθετης ρητίνης

Δ. ΔΙΟΝΥΣΟΠΟΥΛΟΣ¹, Ε. ΚΟΛΙΝΙΩΤΗ-ΚΟΥΜΠΙΑ²

Εργαστήριο Οδοντικής Χειρουργικής, Οδοντιατρική Σχολή Α.Π.Θ.

The effect of shade on depth of cure of a contemporary composite resin

D. DIONYSOPOULOS¹, E. KOLINIOTOU-KOUMPIA²

Department of Operative Dentistry, Dental School, Aristotle University of Thessaloniki, Greece

Περίληψη

Ο σκοπός της εργασίας αυτής ήταν η μελέτη της επίδρασης της απόχρωσης μιας σύγχρονης νανόκοκκης σύνθετης ρητίνης στο βάθος πολυμερισμού της, με τη χρησιμοποίηση τριών διαφορετικών συσκευών φωτοπολυμερισμού.

Η σύνθετη ρητίνη που μελετήθηκε ήταν η Filtek Supreme XT (3M ESPE), στις αποχρώσεις A1B, A2B, A3B, A3.5B, A2D και YT. Οι συσκευές φωτοπολυμερισμού που χρησιμοποιήθηκαν ήταν η Ledemetron (Kerr), η Elipar 2500 (3M ESPE) και η Elipar Visio (3M ESPE). Με τη χρήση ειδικής μήτρας από ανοξείδωτο χάλυβα, διαμέτρου 4 mm και μήκους 8 mm, κατασκευάστηκαν 5 κυλινδρικά δοκίμια για κάθε απόχρωση και με παχύμετρο ακριβείας ($\pm 0,01$ mm) μετρήθηκε το μήκος του πολυμερισμένου υλικού μετά την αφαίρεση του μαλακού απολυμεριστού μέρους. Τα ευρήματα αναλύθηκαν στατιστικά με ANOVA και Bonferroni test.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το βάθος πολυμερισμού της σύνθετης ρητίνης που μελετήθηκε επηρεάστηκε στατιστικά σημαντικά από την απόχρωση της σύνθετης ρητίνης καθώς και από το είδος της συσκευής φωτοπολυμερισμού. Οι περισσότερες ανοικτές αποχρώσεις παρουσίασαν μεγαλύτερο βάθος πολυμερισμού. Η συσκευή φωτοπολυμερισμού Elipar 2500 παρουσίασε μεγαλύτερο βάθος πολυμερισμού από τις συσκευές Ledemetron και Elipar Visio.

Συμπερασματικά, το βάθος πολυμερισμού της σύνθετης ρητίνης εμφάνισε ελάττωση στα πιο σκούρα χρώματα ανεξάρτητα από τη συσκευή φωτοπολυμερισμού.

Summary

In a composite restorative procedure photopolymerization of the composite is of fundamental importance because adequate polymerization is a crucial factor for optimization of the physical and mechanical properties and clinical results of the composite material.

Quartz-Tungsten-Halogen (QTH) lamp is the most widely used light source in light-curing units. Despite its popularity there are limitations inherent with this technology, such as a limited lifespan of the bulb and high heat production and emission. To overcome these shortcomings, the Light Emitting Diode (LED) lamp has been proposed as an alternative technology for curing light activated dental materials.

The purpose of this study was to evaluate the effect of shade on depth of cure of a contemporary composite resin using three different light sources.

The composite resin used in this study was Filtek Supreme XT (3M ESPE), which is a nanofilled composite resin and the tested shades were A1B, A2B, A3B, A3.5B, A2D and YT. Three light sources were used in this study: a LED (Ledemetron, Kerr) and two QTH (Elipar 2500, 3M ESPE and Elipar Visio, 3M ESPE) light curing units. Depth of cure was evaluated according to ISO 4049.

A stainless steel mold (8 mm high, 4 mm in diameter) was used for the preparation of the cylindrical resin specimens. The mold was filled with the tested material and light cured with the light curing devices. The specimens were removed from the mold, the soft restorative material was removed from the bottom of the specimen and the height of the cylinder of the cured material was measured with a micrometer to an accuracy of ± 0.01 mm.

All results were statistically analyzed with analysis of variance (two-way ANOVA) and Bonferroni test. Depth of cure values ranged from 3.04 ± 0.09 mm (A2D, Elipar Visio) to 6.43 ± 0.56 mm (A1, Elipar 2500). The results showed statistically significant differences among shades, in favor of the lighter shades. Light curing unit Elipar 2500 exhibited significant higher values than Ledemetron and Elipar Visio.

Within the limitations of this study it is possible to conclude that depth of cure of composite resins can be reduced by use of darker shades independently on light curing unit used.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: βάθος πολυμερισμού, απόχρωση της σύνθετης ρητίνης, συσκευές φωτοπολυμερισμού

KEY WORDS: depth of cure, shade of composite resin, light-curing units

Στάλθηκε στις 15.4.2011. Εγκρίθηκε στις 16.11.2012

¹ Διδάκτορας

² Αναπληρώτρια Καθηγήτρια

Received on 15th April, 2011. Accepted on 16th Nov., 2012.

¹ PhD

² Associate Professor

Εισαγωγή

Η χρησιμοποίηση των φωτοπολυμεριζόμενων σύνθετων ρητινών για την αποκατάσταση τερηδοσμένων δοντιών, ιδιαίτερα οπισθίων, έχει αυξηθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια¹. Το βάθος πολυμερισμού και ο βαθμός του πολυμερισμού των σύνθετων ρητινών αποτελούν δύο σημαντικές ιδιότητες, σε σχέση με τη συμπεριφορά τους ως εμφρακτικά υλικά. Ένα μειονέκτημα των σύνθετων ρητινών είναι ότι η σκληρή επιφάνεια που επιτυγχάνεται, μετά τον πολυμερισμό τους, δεν σημαίνει ότι ο πολυμερισμός έχει γίνει σε όλο το βάθος τους^{2,3}. Ο ανεπαρκής πολυμερισμός των σύνθετων ρητινών μπορεί να οδηγήσει σε ανεπιθύμητες συνέπειες, όπως ο σχηματισμός κενών στα όρια της έμφραξης, με συνέπεια τη μικροδιείσδυση, την ανάπτυξη δευτερογενούς τερηδόνας και τελικά την πολφική βλάβη, δηλαδή την αποτυχία της έμφραξης⁴. Ο πλήρης πολυμερισμός των σύνθετων ρητινών είναι σημαντικός για την εξασφάλιση των φυσικομηχανικών ιδιοτήτων του υλικού⁵, αλλά και για την εξασφάλιση του ότι δεν θα προκύψουν κλινικά προβλήματα, που θα οφείλονται στην πιθανή κυτταροτοξικότητα του ανεπαρκώς πολυμερισμένου υλικού⁶.

Ως βάθος πολυμερισμού ορίζεται το βάθος στο οποίο έχει φτάσει ο επαρκής πολυμερισμός μιας σύνθετης ρητίνης από την επιφάνειά της. Το βάθος πολυμερισμού των φωτοπολυμεριζόμενων σύνθετων εμφρακτικών ρητινών επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες, όπως η περιεκτικότητα των σύνθετων ρητινών σε ενισχυτικές ουσίες (fillers), η χημική σύνθεσή τους, η απόχρωσή τους, η διαπερατότητά τους στη φωτεινή ακτινοβολία, ο καταλύτης και η περιεκτικότητά του που περιέχουν, η ένταση της ακτινοβολίας και η κατανομή του φάσματος της φωτεινής πηγής και η διάρκεια της ακτινοβολήσης⁷.

Έχει βρεθεί ότι οι σκούρες αποχρώσεις των σύνθετων ρητινών εμφανίζουν μικρότερο βάθος πολυμερισμού σε σύγκριση με τις πιο φωτεινές αποχρώσεις^{8,9}. Όμως, οι Ferracane και συν.¹⁰ βρήκαν σε μία μελέτη τους ότι το βάθος πολυμερισμού των φωτοπολυμεριζόμενων σύνθετων ρητινών με σκούρα απόχρωση ήταν περίπου ίσο με αυτό των φωτεινών αποχρώσεων. Έτσι, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι το βάθος πολυμερισμού είναι πιθανό να εξαρτάται λιγότερο από την απόχρωση και περισσότερο από τη διαπερατότητα της σύνθετης ρητίνης.

Δύο σπουδαίοι παράγοντες που επηρεάζουν το βάθος πολυμερισμού των σύνθετων ρητινών είναι η ένταση της φωτεινής ακτινοβολίας της συσκευής φωτοπολυμερισμού και η δυνατότητα που έχει το υλικό να εξασθενεί την ένταση της φωτεινής ακτινοβολίας κατά την πορεία της διαμέσου του υλικού¹¹. Η εξασθένιση της φωτεινής ακτινοβολίας διαμέσου του υλικού, εξαρτάται από την απορρόφηση,

τη διάχυση και την αντανάκλαση που υφίσταται το φως στις ενισχυτικές ουσίες που περιέχονται στη σύνθετη ρητίνη¹². Έτσι, λοιπόν, η διαπερατότητα μιας σύνθετης ρητίνης στη φωτεινή δέσμη και η χρησιμοποίηση μιας κατάλληλης φωτεινής πηγής είναι δύο σημαντικοί παράγοντες για την επίτευξη μεγαλύτερου βάθους πολυμερισμού¹³.

Σήμερα, στην αγορά των οδοντιατρικών υλικών, κυκλοφορούν συσκευές φωτοπολυμερισμού τεχνολογίας LED (Light Emitting Diodes), με σκοπό να ξεπεραστούν τα μειονεκτήματα που εμφανίζουν οι συσκευές φωτοπολυμερισμού αλογόνου QTH (Quartz-Tungsten-Halogen). Έχει βρεθεί ότι οι συσκευές LED εμφανίζουν μεγαλύτερο βάθος πολυμερισμού από τις συσκευές αλογόνου με την ίδια ένταση¹⁴. Επίσης, έχει βρεθεί ότι οι συσκευές LED, ακόμα και όταν έχουν μικρότερη ένταση εμφανίζουν μεγαλύτερο βάθος πολυμερισμού από τις συσκευές αλογόνου¹⁵.

Αλλά σημαντικά πλεονεκτήματα των συσκευών LED είναι ότι έχουν χρόνο ζωής πάνω από 10.000 ώρες, δεν χρειάζονται ειδικά φίλτρα, είναι ασύρματες και δεν υποβαθμίζεται η ένταση της ακτινοβολίας με την πάροδο του χρόνου¹⁵. Επίσης, σημαντικό πλεονέκτημα μιας συσκευής LED είναι το στενό φάσμα εκπομπής που έχει, το οποίο βρίσκεται μέσα στο φάσμα απορρόφησης του φωτοενεργοποιητή καμφοροκινόνη, το οποίο είναι 450-500 nm, με υψηλότερο βαθμό απορρόφησης $\lambda_{max}=470$ nm (μπλε φως)¹⁶.

Ο σκοπός της εργαστηριακής αυτής μελέτης ήταν η εκτίμηση της επίδρασης των αποχρώσεων μιας σύγχρονης σύνθετης ρητίνης στο βάθος πολυμερισμού της, με τη χρησιμοποίηση τριών διαφορετικών συσκευών φωτοπολυμερισμού.

Υλικά και Μέθοδος

Η σύνθετη ρητίνη που μελετήθηκε στην εργασία αυτή ήταν η νανόκοκκη Filtek Supreme XT της εταιρίας 3M ESPE (Πίνακες I και II). Οι συσκευές φωτοπολυμερισμού που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη αυτή ήταν η Ledemetron (Kerr), η Elipar 2500 (3M ESPE) και η Elipar Visio (3M ESPE), (Πίνακας III).

Η μέτρηση της έντασης της ακτινοβολίας των τριών συσκευών φωτοπολυμερισμού που χρησιμοποιήθηκαν, έγινε με ειδική συσκευή μέτρησης έντασης λυχνιών φωτοπολυμερισμού (ραδιόμετρο), (Hilux, Curing Light Meter, Benlioglu Dental Inc, Turkey).

Η μέτρηση της κατανομής του φάσματος των τριών λυχνιών έγινε με φασματοφωτόμετρο (AvaSpec-2048, Fiber optic Spectrometer, Avantes World Headquarters, Eerbeek, The Netherlands). Η κατανομή του φάσματος της φωτεινής δέσμης υπολογίστηκε σε συνάρτηση του μήκους κύματος, μεταξύ 350 nm και 650 nm και της σχετικής έντασης της

ΠΙΝΑΚΑΣ I

Η σύνθετη ρητίνη, ο αριθμός παρτίδας και ο κατασκευαστής.

Σύνθετη ρητίνη	Απόχρωση	Αριθμός παρτίδας	Κατασκευαστής
Filtek Supreme XT	A1B :	7CM	3M ESPE, Dental Products, St. Paul, MN, USA
	A2B :	7JX	
	A3B :	7KK	
	A3,5B :	6CH	
	A2D :	3AX	
	YT :	6CL	

ΠΙΝΑΚΑΣ II

Η σύνθεση της σύνθετης ρητίνης σύμφωνα με τους κατασκευαστές.

Σύνθετη ρητίνη	Τύπος fillers	Τύπος μονομερών	Fillers % κατά βάρος(όγκο)	Μέσο μέγεθος fillers
Filtek Supreme XT	ZrO ₂ /SiO ₂ Nanocluster, SiO ₂ Nanofiller	Bis-EMA, UDMA, Bis-GMA TEGDMA	82 (60)	Nanocluster: 0,6-1,4μm Nanofiller: 2nm

ΠΙΝΑΚΑΣ III

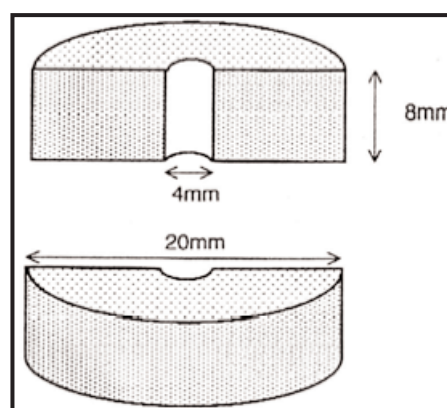
Οι συσκευές φωτοπολυμερισμού που χρησιμοποιήθηκαν, το είδος, η ένταση ακτινοβολίας και ο κατασκευαστής τους

Συσκευές φωτοπολυμερισμού	Είδος λυχνίας	Ένταση ακτινοβολίας	Κατασκευαστής
Ledemetron	LED	1220 mW/cm ²	Kerr Corp., Danbury, USA
Elipar 2500	QTH	810 mW/cm ²	3M ESPE, Dental Products, Seefeld, Germany
Elipar Visio	QTH	410 mW/cm ²	3M ESPE, GmbH & Co. KG, Seefeld, Germany

φωτεινής δέσμης. Η διάμετρος του ακρορυγχίου των τριών συσκευών πολυμερισμού ήταν 6 mm για τη Ledemetron, 7 mm για την Elipar 2500 και 8 mm για την Elipar Visio.

Για τον καθορισμό του βάθους πολυμερισμού των διάφορων αποχρώσεων της σύνθετης ρητίνης που μελετήθηκε, κατασκευάστηκαν 5 κυλινδρικά δοκίμια για κάθε απόχρωση, διαστάσεων 8 mm μήκους και 4 mm διαμέτρου, με τη χρησιμοποίηση κυλινδρικής μήτρας από ανοξείδωτο χάλυβα, η οποία χωριζόταν σε δύο ίσα τμήματα και στο κέντρο της υπήρχε κενός κυλινδρικός χώρος με διάμετρο 4 mm και μήκος 8 mm, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.

Η κυλινδρική μήτρα τοποθετήθηκε πάνω σε λεπτή υάλινη πλάκα μικροσκοπίου επάνω στην οποία είχε τοποθετηθεί ταινία πολυεστέρα (Directa AB, SE-194 27, Urplands Vasby, Sweden) πάχους 0,05 mm. Η μήτρα στη συνέχεια υπερπληρώθηκε ελαφρά με σύνθετη ρητίνη, με προσοχή ώστε να μη σχηματιστούν φυσαλίδες και τοποθετήθηκε μια δεύτερη ταινία πολυεστέρα στο πάνω μέρος της μήτρας. Ακολούθησε η τοποθέτηση λεπτής υάλινης πλάκας



Σχήμα 1. Σχηματική παράσταση της μήτρας από ανοξείδωτο χάλυβα που χρησιμοποιήθηκε.

μικροσκοπίου επάνω στην ταινία του πολυεστέρα. Η μήτρα και οι ταινίες πιέστηκαν μεταξύ των δύο υάλινων πλακών, έτσι ώστε να αφαιρεθεί η περίσσεια του υλικού. Η υάλινη πλάκα που κάλυπτε το άνω μέρος της μήτρας αφαιρέθηκε, η μήτρα τοποθετή-

θηκε σε μία μαύρη βάση και το ρύγχος της συσκευής φωτοπολυμερισμού τοποθετήθηκε σε επαφή με την ταινία του πολυεστέρα στο άνω στόμιο της μήτρας, δια μέσου του οποίου έγινε ο φωτοπολυμερισμός των δοκιμίων.

Για την επιβεβαίωση της σταθερότητας της έντασης των συσκευών φωτοπολυμερισμού πραγματοποιούνταν συχνές μετρήσεις της έντασής τους (κάθε 5 δοκίμια) με το ραδιόμετρο. Η σύνθετη ρητίνη πολυμερίστηκε για το χρονικό διάστημα που προτείνει ο κατασκευαστής της, για τη συγκεκριμένη συσκευή πολυμερισμού (συσκευές αλογόνου: 40 sec, συσκευή LED: 20 sec). Μετά τον φωτοπολυμερισμό τα δοκίμια αφαιρέθηκαν προσεκτικά από τη μήτρα και το ανεπαρκώς πολυμερισμένο μαλακό υλικό αφαιρέθηκε από το κάτω μέρος του δοκιμίου με απόξεση με πλαστική σπάθη¹⁷.

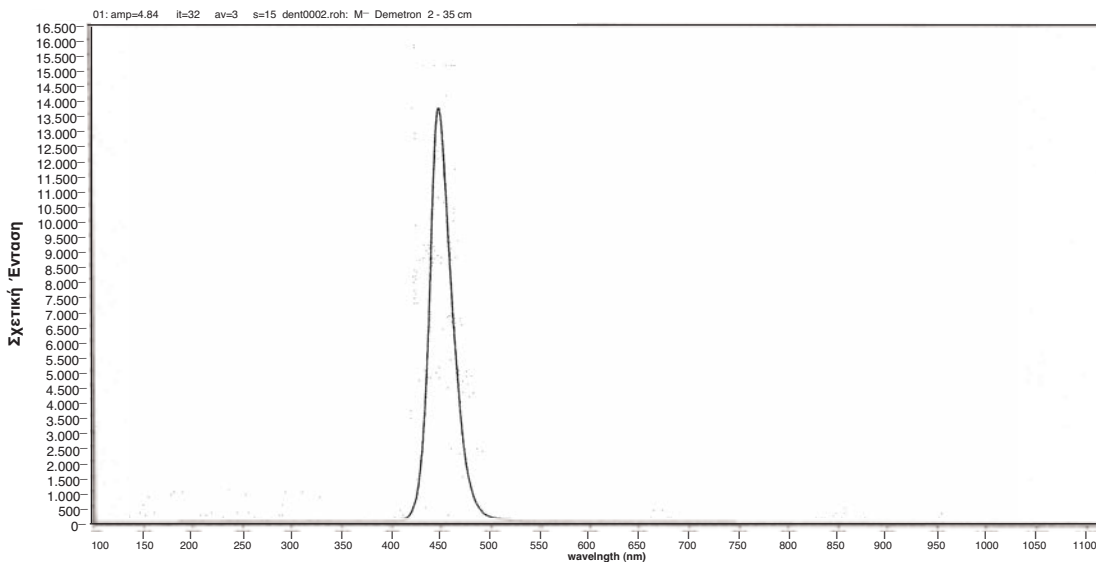
Το μήκος του κυλίνδρου του πολυμερισμένου

υλικού μετρήθηκε με ψηφιακό παχύμετρο (Powerfix Electronic Digital Caliper, Mod. Z22855, London, UK) που έχει ακρίβεια $\pm 0,01$ mm. Όλη η διαδικασία της κατασκευής των δοκιμίων και των μετρήσεων έγινε σε δωμάτιο θερμοκρασίας $23 \pm 1^\circ\text{C}$ από τον ίδιο ερευνητή.

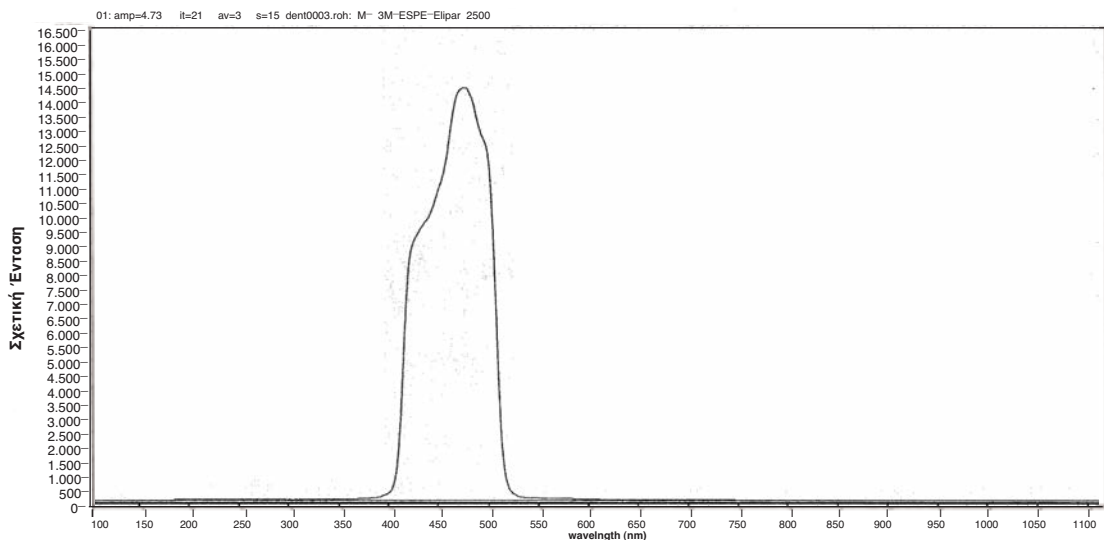
Οι μετρήσεις αναλύθηκαν στατιστικά με τη μέθοδο two-way ANOVA. Η προσαρμογή στην κανονική κατανομή ελέγχθηκε με το Shapiro-Wilk test και ο έλεγχος της ομοιογένειας των διασπορών έγινε με το Levene's test. Οι επιμέρους συγκρίσεις κατά ζεύγη έγιναν με τη μέθοδο Bonferroni. Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε με το στατιστικό πακέτο SPSS 15.0 και το επίπεδο της στατιστικής σημαντικότητας τέθηκε σε $\alpha:0.05$.

Αποτελέσματα

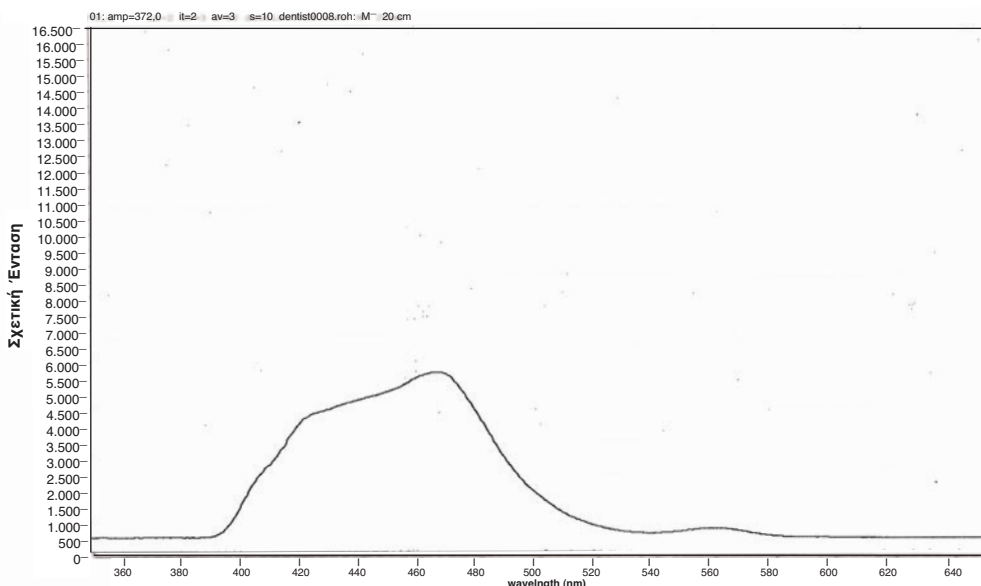
Τα Διαγράμματα 1-3 παρουσιάζουν τα αποτελέ-



Διάγραμμα 1. Η καταγραφή του φάσματος εκπομπής της ακτινοβολίας για τη συσκευή LED.



Διάγραμμα 2. Η καταγραφή του φάσματος εκπομπής της ακτινοβολίας για τη συσκευή Elipar 2500.



Διάγραμμα 3. Η καταγραφή του φάσματος εκπομπής της ακτινοβολίας για τη συσκευή Elipar Visio.

σματα των μετρήσεων της κατανομής του φάσματος των τριών συσκευών πολυμερισμού που έγιναν με το φασματοφωτόμετρο.

Οι Πίνακες IV-VI παρουσιάζουν σε mm την ελάχιστη τιμή (Minimum), τη μέγιστη τιμή (Maximum), τη μέση τιμή (Mean), την τυπική απόκλιση (Standard Deviation, SD) και τη διάμεση τιμή (Median) του βάθους πολυμερισμού των αποχρώσεων της σύνθετης ρητίνης που μελετήθηκε, ύστερα από πολυμερι-

σμό με τις τρεις συσκευές φωτοπολυμερισμού. Η απόχρωση ΥΤ παρουσίασε βάθος πολυμερισμού μεγαλύτερο από 8 mm.

Τα Διαγράμματα 4-6 παρουσιάζουν τη μέση τιμή (Mean) και την τυπική απόκλιση (SD) των μετρήσεων του βάθους πολυμερισμού όλων των συνδυασμών μεταξύ των αποχρώσεων και των συσκευών πολυμερισμού.

Από τις μετρήσεις της κατανομής του φάσματος

ΠΙΝΑΚΑΣ IV

Οι τιμές των μετρήσεων σε mm ύστερα από τον πολυμερισμό της σύνθετης ρητίνης με τη συσκευή LED.

Απόχρωση	N	Minimum	Maximum	Mean	SD	Median
A1	5	6,04	6,20	6,12	0,06	6,12
A2	5	5,41	5,63	5,51	0,09	5,52
A3	5	5,03	5,25	5,13	0,07	5,13
A3,5	5	4,96	5,14	5,06	0,06	5,07
A2D	5	3,71	3,96	3,84	0,08	3,85
T - I	5	8,00	8,00	8,00	0,00	8,00

ΠΙΝΑΚΑΣ V

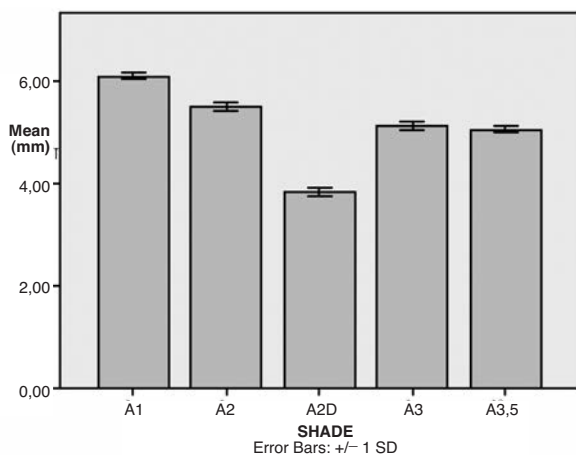
Οι τιμές των μετρήσεων σε mm ύστερα από τον πολυμερισμό της σύνθετης ρητίνης με τη συσκευή πολυμερισμού Elipar 2500.

Απόχρωση	N	Minimum	Maximum	Mean	SD	Median
A1	5	6,30	6,43	6,36	0,05	6,35
A2	5	5,72	5,84	5,78	0,05	5,80
A3	5	5,23	5,41	5,31	0,08	5,31
A3,5	5	5,10	5,25	5,18	0,06	5,21
A2D	5	3,84	4,05	3,96	0,08	3,97
T - I	5	8,00	8,00	8,00	0,00	8,00

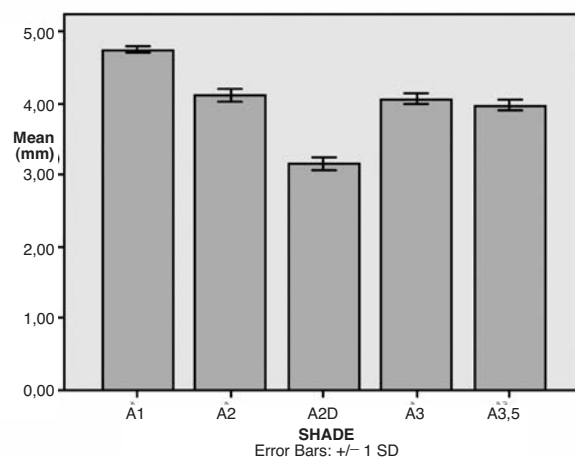
ΠΙΝΑΚΑΣ VI

Οι τιμές των μετρήσεων σε mm ύστερα από τον πολυμερισμό της σύνθετης ρητίνης με τη συσκευή πολυμερισμού Elipar Visio.

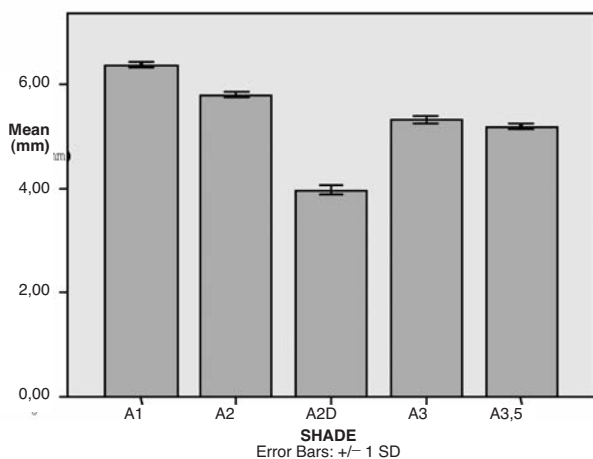
Απόχρωση	N	Minimum	Maximum	Mean	SD	Median
A1	5	4,67	4,81	4,76	0,05	4,77
A2	5	4,03	4,22	4,12	0,07	4,11
A3	5	3,95	4,17	4,07	0,08	4,06
A3,5	5	3,89	4,05	3,98	0,06	4,02
A2D	5	3,04	3,27	3,15	0,09	3,13
T-1	5	8,00	8,00	8,00	0,00	8,00



Διάγραμμα 4. Η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση σε mm του βάθους πολυμερισμού της σύνθετης ρητίνης που πολυμερίστηκε με τη συσκευή LED.



Διάγραμμα 6. Η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση σε mm του βάθους πολυμερισμού της σύνθετης ρητίνης που πολυμερίστηκε με τη συσκευή Elipar Visio.



Διάγραμμα 5. Η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση σε mm του βάθους πολυμερισμού της σύνθετης ρητίνης που πολυμερίστηκε με τη συσκευή Elipar 2500.

εκπομπής των τριών συσκευών πολυμερισμού που έγιναν με το φασματοφωτόμετρο βρέθηκε ότι το μικρότερο εύρος φάσματος παρουσίασε η συσκευή LED και ακολούθησαν οι συσκευές Elipar 2500 και Elipar Visio.

Από την ανάλυση διασποράς (ANOVA) βρέθηκε

ότι σε όλους τους συνδυασμούς μεταξύ των αποχρώσεων και των συσκευών πολυμερισμού υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μέσων τιμών των ομάδων των χρωμάτων ($p < 0.001$).

Από τις κατά ζεύγη συγκρίσεις με τη στατιστική μέθοδο Bonferroni όλων των χρωμάτων με τα υπόλοιπα βρέθηκε ότι:

- Κατά τον πολυμερισμό με τη συσκευή LED της σύνθετης ρητίνης υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ κάθε ζεύγους χρωμάτων για κάθε σύγκριση ($p < 0.001$) εκτός των A3-A3,5 που δε διαφέρουν ($p = 1.00$).
- Κατά τον πολυμερισμό με τη συσκευή Elipar 2500 υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ κάθε ζεύγους χρωμάτων για κάθε σύγκριση ($p < 0.001$) εκτός των A3-A3,5 που δε διαφέρουν ($p = 0.079$).
- Κατά τον πολυμερισμό με τη συσκευή Elipar Visio υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ κάθε ζεύγους χρωμάτων για κάθε σύγκριση ($p < 0.001$) εκτός των A2-A3-A3,5 που δε διαφέρουν ($p > 0.05$).

Το μεγαλύτερο βάθος πολυμερισμού παρουσίασαν τα δοκίμια που πολυμερίστηκαν με την συσκευή

πολυμερισμού Elipar 2500 και ακολούθησαν αυτά που πολυμερίστηκαν με τις συσκευές Ledemetron και Elipar Visio.

Συζήτηση

Ο επαρκής πολυμερισμός των σύνθετων ρητινών έχει μεγάλη σημασία για την κλινική τους επιτυχία. Ο φωτοενεργοποιητής που χρησιμοποιείται στις περισσότερες σύνθετες ρητίνες είναι η καμφοροκινόνη και ενεργοποιείται με ορατό φως σε μήκος κύματος 400-515 nm. Μια συσκευή, για να είναι αποτελεσματική στο βάθος και την ποιότητα του πολυμερισμού μιας σύνθετης ρητίνης, πρέπει να έχει επαρκή ένταση εκπομπής ακτινοβολίας. Οι συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν είχαν ένταση ακτινοβολίας από 410 mW/cm² μέχρι 1220 mW/cm², η οποία είναι μεγαλύτερη από το προτεινόμενο κατώτερο όριο των 400 mW/cm²¹⁸.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η συσκευή Ledemetron παρουσιάζει το στενότερο εύρος φάσματος σε σύγκριση με τις άλλες δύο συσκευές φωτοπολυμερισμού, στο οποίο περιλαμβάνεται το φάσμα απορρόφησης του φωτοενεργοποιητή καμφοροκινόνη. Το μεγαλύτερο εύρος φάσματος παρουσιάζει η συσκευή Elipar Visio με μεγάλη διαφορά από τις άλλες δύο συσκευές. Έχει βρεθεί ότι για μια σύνθετη ρητίνη που περιέχει ως φωτοενεργοποιητή την καμφοροκινόνη, όπως στη σύνθετη ρητίνη που χρησιμοποιήθηκε στη μελέτη αυτή, το πλέον κατάλληλο μήκος κύματος για το φωτοπολυμερισμό της είναι τα 465 nm¹⁹.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το βάθος πολυμερισμού της σύνθετης ρητίνης που μελετήθηκε, επηρεάστηκε σημαντικά από την απόχρωση της σύνθετης ρητίνης. Τα περισσότερα ανοιχτά χρώματα παρουσίασαν μεγαλύτερο βάθος πολυμερισμού, ενώ τα περισσότερα σκούρα παρουσίασαν μικρότερο βάθος πολυμερισμού. Το μεγαλύτερο βάθος πολυμερισμού παρουσίασαν τα δοκίμια της κοπτικής διαφάνειας (YT), ενώ το μικρότερο βάθος παρουσίασαν τα δοκίμια με την απόχρωση της οδοντίνης (A2D). Το μεγαλύτερο βάθος πολυμερισμού που παρουσίασαν τα δοκίμια της κοπτικής διαφάνειας, φαίνεται να οφείλεται στη μεγάλη διαπερατότητά της, αλλά και στη μικρότερη περιεκτικότητα των ενισχυτικών ουσιών (fillers) που έχει, με αποτέλεσμα τη σε βάθος διείσδυση της φωτεινής δέσμης και τον επαρκή πολυμερισμό των βαθύτερων στρωμάτων¹¹⁻¹³. Το μικρότερο βάθος πολυμερισμού που παρουσίασε η απόχρωση της οδοντίνης (A2D) φαίνεται να οφείλεται στη μικρότερη διαπερατότητα που έχει, με αποτέλεσμα την αδυναμία διείσδυσης της φωτεινής δέσμης στα κατώτερα στρώματα του υλικού¹¹⁻¹³.

Τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν με τα αποτελέσματα των μετρήσεων άλλων ερευνητών που βρή-

καν ότι οι πιο σκούρες αποχρώσεις πολυμερίζονται σε μικρότερο βάθος από τις ανοιχτές αποχρώσεις και ότι οι χρωστικές που χρησιμοποιούνται κατά την παρασκευή των σύνθετων ρητινών για τον καθορισμό των αποχρώσεών τους, επηρεάζουν το βάθος πολυμερισμού των υλικών^{7-9,19-21}. Συμφωνούν επίσης με τα αποτελέσματα των μετρήσεων του Shortall²², ο οποίος μέτρησε το βάθος πολυμερισμού διαφόρων αποχρώσεων της μικροϋβριδικής σύνθετης ρητίνης Filtek Z250 (3M ESPE) με τρεις διαφορετικές συσκευές φωτοπολυμερισμού. Το μικρότερο βάθος πολυμερισμού, που παρουσιάζουν οι κίτρινες αποχρώσεις, πιθανόν να οφείλεται στο ότι αυτές, επειδή είναι συμπληρωματικές του μπλε φωτός, που εκπέμπουν οι λυχνίες πολυμερισμού, εμφανίζουν εκλεκτική απορρόφηση του φωτός ενεργοποίησης με αποτέλεσμα να έχουν μικρότερο βάθος πολυμερισμού²³.

Το βάθος πολυμερισμού της κοπτικής διαφάνειας (YT) σε όλες τις μετρήσεις ήταν μεγαλύτερο από τα 8 mm του μήκους της κυλινδρικής μήτρας. Για το λόγο αυτόν τα αποτελέσματα των μετρήσεων των δοκιμίων αυτών δεν συμπεριλήφθηκαν στη στατιστική ανάλυση.

Το βάθος πολυμερισμού των φωτοπολυμεριζόμενων σύνθετων ρητινών, εκτός από το χρώμα, επηρεάζεται και από άλλους παράγοντες, όπως η χημική σύνθεση του οργανικού μέρους, η περιεκτικότητα σε ενισχυτικές ουσίες (fillers), ο συντελεστής διαπερατότητας, η περιεκτικότητα σε καταλύτη, η ένταση της ακτινοβολίας της συσκευής φωτοπολυμερισμού και η διάρκεια της ακτινοβολήσης⁷.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η συσκευή φωτοπολυμερισμού Elipar 2500 παρουσίασε το μεγαλύτερο βάθος πολυμερισμού και ακολούθησαν η συσκευή Ledemetron και η συσκευή Elipar Visio. Η συσκευή Ledemetron, η οποία έχει τη μεγαλύτερη ένταση ακτινοβολίας, χρησιμοποιήθηκε για χρόνο 20 sec, ενώ οι άλλες δύο συσκευές για χρόνο 40 sec, σύμφωνα με τις οδηγίες των κατασκευαστών. Το μεγαλύτερο βάθος πολυμερισμού που παρουσίασε η συσκευή Elipar 2500, αν και είχε μικρότερη ένταση ακτινοβολίας από τη συσκευή Ledemetron, όπως φαίνεται οφείλεται στο μεγαλύτερο χρόνο που χρησιμοποιήθηκε, καθώς η διάρκεια ακτινοβολήσης είναι ένας σημαντικός παράγοντας για την επίτευξη μεγαλύτερου βάθους πολυμερισμού. Η συσκευή Elipar Visio παρουσίασε το μικρότερο βάθος πολυμερισμού, γεγονός που φαίνεται να οφείλεται στη μικρή ένταση ακτινοβολίας που εκπέμπει και στο μεγαλύτερο εύρος του φάσματος εκπομπής.

Η μέθοδος της μελέτης του βάθους πολυμερισμού ενός υλικού με την τεχνική της απόξεσης του απολυμέριστου μέρους της σύνθετης ρητίνης, που χρησιμοποιήθηκε στην εργασία αυτή, είναι μια αξιόπιστη τεχνική και έχει χρησιμοποιηθεί από πολλούς

ερευνητές^{9,24-34}. Οι DeWald και Ferracane συνέκριναν τη μέθοδο αφαίρεσης του απολυμέριστου τμήματος της σύνθετης ρητίνης, που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία, με άλλες μεθόδους ελέγχου του βάθους πολυμερισμού, όπως η δοκιμασία σκληρότητας και η δοκιμασία μέτρησης της μετατροπής των διπλών δεσμών άνθρακα³⁴. Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων των μεθόδων αυτών βρέθηκε ότι αυτές καταλήγουν σε παρόμοια συγκριτικά αποτελέσματα με τη μέθοδο απόξεσης του απολυμέριστου υλικού που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μελέτη^{17,33}.

Συμπεράσματα

Το βάθος πολυμερισμού της σύνθετης ρητίνης που μελετήθηκε επηρεάστηκε στατιστικά σημαντικά από την απόχρωσή της. Το μεγαλύτερο βάθος πολυμερισμού παρουσίασαν τα δοκίμια της κοπτικής διαφάνειας (YT) και το μικρότερο βάθος τα δοκίμια της απόχρωσης της οδοντίνης (A2D).

Τα δοκίμια της απόχρωσης A1, η οποία είναι και η πλέον ανοιχτή, παρουσίασαν το μεγαλύτερο βάθος πολυμερισμού, ενώ τα δοκίμια της απόχρωσης A3,5, η οποία είναι η περισσότερο σκούρα, παρουσίασαν το μικρότερο βάθος πολυμερισμού.

Το μεγαλύτερο βάθος πολυμερισμού παρουσίασαν τα δοκίμια που πολυμερίστηκαν με την συσκευή φωτοπολυμερισμού Elipar 2500 και ακολούθησαν οι συσκευές Ledemetron και Elipar Visio.

Το μεγαλύτερο εύρος φάσματος εκπομπής της ακτινοβολίας παρουσίασε η συσκευή φωτοπολυμερισμού Elipar Visio και ακολούθησαν οι συσκευές Elipar 2500 και Ledemetron.

Βιβλιογραφία

1. Kurachi C, Tuboy AM, Magalhaes DV, Bagnato VS. Hardness evaluation of a dental composite polymerized with experimental LED-based devices. *Dent Mater* 2001; 17:309-15.
2. Pilo R, Cardash HS. Post-irradiation polymerization of different anterior and posterior visible light activated resin composites. *Dent Mater* 1992; 8:299-304.
3. Hansen EK, Asmussen E. Correlation between depth of cure and surface hardness of a light activated resin. *Scand J Dent Res* 1993; 101:62-4.
4. Ferracane JL. Dental composites: Present status and research directions. *Sec. Int. Congr. Dent Mater* 1993; 49-53.
5. Asmussen E. Factors affecting the quantity of remaining double bonds in restorative resin polymers. *Scand J Dent Res* 1982; 90:490-6.
6. Caughman WF, Caughman GB, Shiflet RA, Rueggeber F, Schuster GS. Correlation of cytotoxicity, filler loading and curing time of dental composites. *Biomater* 1991; 12:737-40.
7. Shortall AC, Wilson HJ, Harrington E. Depth of cure of radiation activated composite restoratives influence of shade and opacity. *J Oral Rehab* 1993; 22:337-42.
8. Newman SM, Murray GA, Yates JL. Visible lights and visible-light-activated composite resins. *J Prosth Dent* 1983; 50:31-5.
9. Swartz ML, Phillips RW, Rhodes B. Visible light activated resins: Depth of cure. *J Am Dent Assoc* 1983; 106:634-7.
10. Ferracane JL, Aday P, Matsumoto H, Merker VA. Relationship between shade and depth of cure for light activated dental composite resins. *Dent Mater* 1986; 2:80-4.
11. Rueggeberg FA, Caughman WF, Curtis JW Jr, Davis HC. Factors affecting cure at depths within light-activated resin composites. *Am J Dent* 1993; 6:91-5.
12. Ruyter IE, Oysaed H. Conversion in different depths of ultraviolet and visible light activated composite materials. *Acta Odontol Scand* 1982; 40:179-92.
13. McCabe JF, Carrick TE. Output from visible-light activation units and depth of cure of light activated composites. *J Dent Res* 1989; 68:1534-9.
14. Fujibayashi K, Ishimaru K, Takahashi N, Kohno A. Newly developed curing unit using blue light-emitting diodes. *Dent Japan* 1998; 34:49-53.
15. Mills RW, Jandt KD, Ashworth SH. Dental composite depth of cure with halogen and blue light emitting diode technology. *Br Dent J* 1999; 186:388-91.
16. Lee SY, Chiu CH, Boghosian A, Greener EH. Radiometric and spectroradiometer comparison of power outputs of five visible light-curing units. *J Dent* 1993; 21:373-7.
17. International Organization of Standardization. ISO 4049:2000. Dentistry-polymer-based filling, restorative and luting materials. 3rd ed. Geneva, Switzerland: International Organization of Standardization: 2000.
18. Ferracane JL. *Materials in Dentistry. Principles & Applications*. 2nd ed. Lippincott Williams & Wilkins, 2001, Philadelphia, USA.
19. Nomoto R. Effect of light wavelength on polymerization of light-cured resins. *Dent Mater* 1997; 16:60-73.
20. Araujo CS, Schein MT, Zanchi CH, Rodrigues Jr SA, Demarco FF. Composite Resin Microhardness: The influence of light curing method, composite shade and depth of cure. *J Contemp Dent Pract* 2008; 9:1-9.
21. Bennett A, Watts D. Composite shade effects on depth of cure for LED and QTH irradiation. *J Dent Res* 2003; 82 (Spec Iss B) Abstr No 1502.
22. Shortall AC. How light source and product shade influence cure depth for a contemporary composite. *J Oral Rehab* 2005; 32:906-11.
23. Ηλιάδης Γ. Σύνθετες Ρητίνες. Καφούσιας Ν, Μπαλτζάκη Γ, Σταθόπουλος Α. *Οδοντιατρικά Βιοϋλικά* 1994, Εκδόσεις Ακίδα, Αθήνα, 387- 413.
24. Cook WD. Curing efficiency and ocular hazards of dental photopolymerization sources. *Biomater* 1986; 7:449-454.
25. Fan PL, Wozniak WT, Reyes WD, Stanford JW. Irradiance of visible light-curing units and voltage variation effects. *J Am Dent Assoc* 1987; 115:442-5.
26. Dunne SM, Davies BR, Millar BJ. A survey of the effectiveness of dental light-curing units and a comparison

- of light testing devices. *Br Dent J* 1996; 180:411-6.
27. 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.
 28. Baharav H, Abraham D, Cardash HS, Helft M. Effect of exposure time on the depth of polymerization of a visible light-cured composite resin. *J Oral Rehabil* 1988; 15:167-72.
 29. Ray NJ. Depth of cure of visible light-activated composite restorative materials. *J Ir Dent Assoc* 1986; 32:17-8.
 30. Soh MS, Yap AUJ, Siow KS. Comparative depths of cure among various curing light types and methods. *Oper Dent* 2004; 29:9-15.
 31. Jandt KD, Mills RW, Blackwell GB, Ashworth SH. Depth of cure and compressive strength of dental composites cured with blue light emitting diodes (LEDs). *Dent Mater* 2000; 16:41-7.
 32. Διονυσόπουλος Π, Watts D. Βάθος πολυμερισμού υλικών κάλυψης οπών και σχισμών. *Στόμα* 2007; 35:283-9.
 33. Fan PL, Schumacher RM, Azzolin K, Geary R, Einchmiller FC. Curing light intensity and depth of cure of resin based composites tested according to international standards. *J Am Dent Assoc* 2002; 133:429-34.
 34. De Wald JP, Ferracane JL. A comparison of four modes of evaluating depth of cure of light-activated composites. *J Dent Res* 1987; 66:727-30.