

Η επίδραση της απόχρωσης της σύνθετης ρητίνης και του είδους της συσκευής φωτοπολυμερισμού στο βάθος πολυμερισμού των σύνθετων ρητινών

Δ. ΔΙΟΝΥΣΟΠΟΥΛΟΣ¹, Ε. ΚΟΛΙΝΙΩΤΗ-ΚΟΥΜΠΙΑ²

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

The effect of shade and type of light source on depth of cure of composite resins

D. DIONYSOPOULOS¹, E. KOLINIOTI-KOUMPIA²

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

Περίληψη

Η χρησιμοποίηση των φωτοπολυμεριζόμενων σύνθετων ρητινών για την αποκατάσταση τερηδονισμένων δοντιών, ιδιαίτερα οπισθίων, έχει αυξηθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια. Το βάθος πολυμερισμού μιας σύνθετης ρητίνης καθώς και ο βαθμός του πολυμερισμού είναι δύο σημαντικές ιδιότητες.

Το βάθος πολυμερισμού των φωτοπολυμεριζόμενων σύνθετων εμφρακτικών ρητινών επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες, όπως η σύνθεση των ανόργανων ενισχυτικών ουσιών (fillers), η χημική σύσταση της οργανικής μήτρας (μονομερή), η απόχρωση, η διαπερατότητα στη φωτεινή ακτινοβολία του υλικού, ο τύπος του καταλύτη και η περιεκτικότητά του, η ένταση και η κατανομή του φάσματος της φωτεινής πηγής και η διάρκεια της ακτινοβολήσης.

Ο σκοπός της εργασίας αυτής ήταν ο προσδιορισμός της επίδρασης της απόχρωσης δύο σύγχρονων σύνθετων ρητινών στο βάθος πολυμερισμού με τη χρησιμοποίηση τριών διαφορετικών συσκευών πολυμερισμού.

Οι σύνθετες ρητίνες που χρησιμοποιήθηκαν ήταν η μικροϋβριδική Filtek Z250 στις αποχρώσεις A1, A2, A3, A3.5, A4, UD και I και η Filtek Silorane που ανήκει στις σιλοράνες, στις αποχρώσεις A2, A3, B2 και C2.

Οι συσκευές πολυμερισμού 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 κυλινδρικά δοκίμια όλων των αποχρώσεων και με παχύμετρο ακριβείας (± 0.01 mm) μετρήθηκε το μήκος του πολυμερισμένου υλικού μετά την αφαίρεση του μαλακού απολιμνισμένου μέρους. Τα ευρήματα αναλύθηκαν στατιστικά με ANOVA και Bonferroni test.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το βάθος πολυμερισμού των σύνθετων ρητινών που μελετήθηκαν, επηρεάστηκε σημαντικά από την απόχρωσή τους καθώς και από το είδος της συσκευής πολυμερισμού. Οι περισσότεροι ανοικτές αποχρώσεις παρουσίασαν μεγαλύτερο βάθος πολυμερισμού. Η συσκευή πολυμερισμού Elipar 2500 παρουσίασε μεγαλύτερο βάθος πολυμερισμού από τις συσκευές Ledemetron και Elipar Visio. Το βάθος πολυμερισμού των σύνθετων ρητινών εμφανισε ελάττωση στα πιο σκούρα χρώματα ανεξάρτητα από τη συσκευή πολυμερισμού που χρησιμοποιήθηκε.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Βάθος πολυμερισμού, απόχρωση της σύνθετης ρητίνης.

Summary

Light activated composite resin restoratives are used for restoring teeth in anterior and posterior region. Manufacturers have increased the range of shades of light activated resin composites to meet the increasing aesthetic requirements of both patients and practitioners. Amongst other factors, clinical success of resin based composites depends critically upon adequate polymerization.

Blue light has been for curing dental composites for many years and quartz tungsten halogen (QTH) lamps are most popular energy source. The relatively recently introduced light emitting diode (LED) source offers a much more efficient way for composite polymerization.

The purpose of this study was to assess the effect of shade on depth of cure of two composite resins using three different light sources.

Composite resins Filtek Z250 (3M ESPE), shades A1, A2, A3, A3.5, A4, UD and I and Filtek Silorane (3M ESPE), shades A2, A3, B2 and C2, were used in this study.

Three light sources were used in this study: Ledemetron (Kerr), Elipar 2500 (3M ESPE) and Elipar Visio (3M ESPE). Depth of cure was tested according to ISO 4049.

A stainless steel mould (8 mm long, 4 mm in diameter) was used for the preparation of the cylindrical resin specimens. The mould was filled with the test material and light cured with the light curing devices. The specimens were removed from the mould, the soft restorative material was removed from the bottom of the mould 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 (One Way ANOVA and Two Way ANOVA) and Bonferroni test.

Depth of cure values ranged from 3.45 ± 0.10 mm (C2, Filtek Silorane, Elipar Visio) to 7.55 ± 0.07 mm (A1, Filtek Z250, Elipar 2500).

The results showed statistically significant difference among shades, in favor of the lighter shades.

Light curing unit Elipar 2500 exhibited statistically 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.

KEY WORDS: Depth of cure, shade of composite resin.

Στάλθηκε στις 15.12.2009. Εγκρίθηκε στις 6.5.2010

¹ Υποψήφιος Διδάκτορας

² Αναπληρώτρια Καθηγήτρια

Received on 15th Dec., 2009. Accepted on 6th May, 2010.

¹ Postgraduate Student

² Associate Professor

Εισαγωγή

Τα νέα υλικά και τεχνικές που χρησιμοποιούνται στις αποκαταστάσεις με σύνθετη ρητίνη έχουν βελτιώσει σημαντικά το χρόνο ζωής των εμφράξεων, που έχει ξεπεράσει τα 17 χρόνια¹ και έχουν ελαττώσει το ποσοστό αποτυχίας στο 2,2%, που είναι παρόμοιο με αυτό του αμαλγάματος². Το βάθος πολυμερισμού μιας σύνθετης ρητίνης καθώς και ο βαθμός του πολυμερισμού είναι δύο σημαντικές ιδιότητες. Ένα μειονέκτημα των σύνθετων ρητινών είναι ότι η σκληρή επιφάνεια που επιτυγχάνεται μετά τον πολυμερισμό δεν σημαίνει ότι έχει πολυμεριστεί η σύνθετη ρητίνη σε όλο το βάθος^{3,4}. Ο ανεπαρκής πολυμερισμός των σύνθετων ρητινών μπορεί να οδηγήσει σε σχηματισμό κενών στα όρια της έμφραξης, με συνέπεια τη μικροδιείσδυση, τη δευτερογενή τερηδόνα, την πολφική βλάβη και την απόπτωση της έμφραξης⁵. Ο πλήρης πολυμερισμός των σύνθετων ρητινών είναι σημαντικός για την εξασφάλιση των φυσικοχημικών και μηχανικών ιδιοτήτων του υλικού⁶, αλλά και για την εξασφάλισή του ότι δε θα προκύψουν κλινικά προβλήματα που θα οφείλονται στην πιθανή κυτταροτοξικότητα του ανεπαρκώς πολυμερισμένου υλικού⁷.

Ως βάθος πολυμερισμού ορίζεται η απόσταση στην οποία έχει φτάσει ο επαρκής βαθμός πολυμερισμού μιας σύνθετης ρητίνης από την επιφάνειά της. Το βάθος πολυμερισμού των φωτοπολυμεριζόμενων σύνθετων εμφρακτικών ρητινών επηρεάζεται από ποικίλους παράγοντες, όπως η σύνθεση των ανόργανων ενισχυτικών ουσιών, η χημική σύσταση της οργανικής μήτρας, το χρώμα, η διαπερατότητα στο φως, ο τύπος του καταλύτη και η περιεκτικότητά του, η ένταση και η κατανομή του φάσματος της φωτεινής πηγής και η διάρκεια ακτινοβολήσης⁸.

Δύο βασικές ιδιότητες των σύγχρονων σύνθετων ρητινών που προκαλούν αρνητικές επιπτώσεις στις εμφράξεις με αυτά τα υλικά, είναι η συστολή πολυμερισμού και οι τάσεις που αναπτύσσονται λόγω της συστολής αυτής. Για την αντιμετώπιση των προβλημάτων αυτών εφαρμόστηκαν διάφορες τεχνικές αλλά και έγινε προσπάθεια τροποποίησης της σύστασης των σύνθετων ρητινών. Αποτέλεσμα των προσπαθειών ήταν η δημιουργία ενός νέου είδους σύνθετων ρητινών που ονομάστηκαν σιλοράνες (Siloranes).

Οι σιλοράνες έχουν υδρόφοβες ιδιότητες και προσροφούν λιγότερο χρωστικές, εμφανίζουν μικρότερη συστολή πολυμερισμού σε σύγκριση με τις συμβατικές σύνθετες ρητίνες (1% κ.ο.), καθώς επίσης αναπτύσσονται μικρότερες δυνάμεις κατά τη συστολή του πολυμερισμού⁹⁻¹⁶.

Τα τελευταία χρόνια στην αγορά των οδοντιατρικών υλικών εμφανίστηκαν συσκευές φωτοπολυμερισμού τεχνολογίας LED (Light Emitting Diodes), με

σκοπό να ξεπεραστούν τα μειονεκτήματα που εμφανίζουν οι συσκευές πολυμερισμού αλογόνου QTH (Quartz Tungsten Halogen). Έχει βρεθεί ότι οι συσκευές LED εμφανίζουν μεγαλύτερο βάθος πολυμερισμού από τις συσκευές αλογόνου με την ίδια ένταση¹⁷. Επίσης έχει βρεθεί ότι οι συσκευές LED ακόμα και όταν έχουν μικρότερη ένταση εμφανίζουν μεγαλύτερο βάθος πολυμερισμού από τις συσκευές αλογόνου¹⁸.

Άλλα 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 χρόνου¹⁸.

Για να ικανοποιηθεί η ανάγκη για τυποποίηση της μεθόδου μέτρησης του βάθους πολυμερισμού, ο Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης (International Organization of Standardization, ISO) ανέπτυξε τεχνική προδιαγραφή για τα φωτοπολυμεριζόμενα πολυμερή εμφρακτικά υλικά, που ορίζει ότι αυτά πρέπει να έχουν βάθος πολυμερισμού τουλάχιστον 1,5 mm όταν πολυμερίζονται για το χρόνο που προτείνει ο κατασκευαστής¹⁹. Στην προδιαγραφή αυτή ως βάθος πολυμερισμού ορίζεται το 50% του μήκους του πολυμερισμένου δοκιμίου του ρητινώδους εμφρακτικού υλικού, μετά την αφαίρεση με απόξεση του απολυμέριστου μαλακού μέρους. Στη συνέχεια χρησιμοποιείται ένα ειδικό κριτήριο (επιτυχία-αποτυχία) για να κριθεί αν ένα υλικό πληρεί την σχετική προδιαγραφή.

Ο σκοπός της εργαστηριακής αυτής μελέτης ήταν ο προσδιορισμός της επίδρασης των αποχρώσεων δύο σύγχρονων σύνθετων ρητινών και της συσκευής πολυμερισμού στο βάθος πολυμερισμού με τη χρησιμοποίηση τριών διαφορετικών συσκευών φωτοπολυμερισμού και η εξέταση αν οι σύνθετες ρητίνες που χρησιμοποιήθηκαν εναρμονίζονται με τις απαιτήσεις του ISO για το βάθος πολυμερισμού.

Υλικά και μέθοδος

Οι σύνθετες ρητίνες που μελετήθηκαν στην εργασία αυτή παρουσιάζονται στους Πίνακες I και II.

Οι συσκευές φωτοπολυμερισμού που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη αυτή παρουσιάζονται στον Πίνακα III.

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

Η μέτρηση της κατανομής του φάσματος των τριών λυχνιών έγινε με φασματοφωτόμετρο (Ava-Spec-2048, Fiber optic Spectrometer, Avantes World Headquarters, Eerbeek, The Netherlands). Η κατανομή του φάσματος της φωτεινής δέσμης έγινε σε συνάρ-

ΠΙΝΑΚΑΣ I

Οι σύνθετες ρητίνες, ο αριθμός παρτίδας και ο κατασκευαστής

Σύνθετη ρητίνη	Απόχρωση	Αριθμός παρτίδας	Κατασκευαστής
Filtek Z 250	A1 :	6WN	3M ESPE Dental Products St. Paul, MN, USA
	A2 :	7BK	
	A3 :	6WU	
	A3,5 :	7MC	
	A4 :	6RN	
	UD :	7XC	
Filtek Silorane	I :	5LR	3M ESPE Dental Products St. Paul, MN, USA
	A2 :	7AJ	
	A3 :	7AR	
	B2 :	7AK	
	C2 :	7AB	

ΠΙΝΑΚΑΣ II

Η σύνθεση των σύνθετων ρητινών σύμφωνα με τους κατασκευαστές

Σύνθετη ρητίνη	Τύπος filler	Τύπος μονομερούς	Fillers % κατά βάρος (κατά όγκο)	Μέσο μέγεθος filler
Filtek Z 250	Zirconia/silica	Bis-EMA UDMA Bis-GMA	82 (60)	0,6 μm
Filtek Silorane	SiO ₂ φθοριούχο ύττριο	3,4-εποξycyclohexylethylcyclopoly methyl siloxane 5-15% κ.β. Bis-3,4-εποξycyclohexylethylphenylmethyl	76 (55)	0,5μm

ΠΙΝΑΚΑΣ III

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

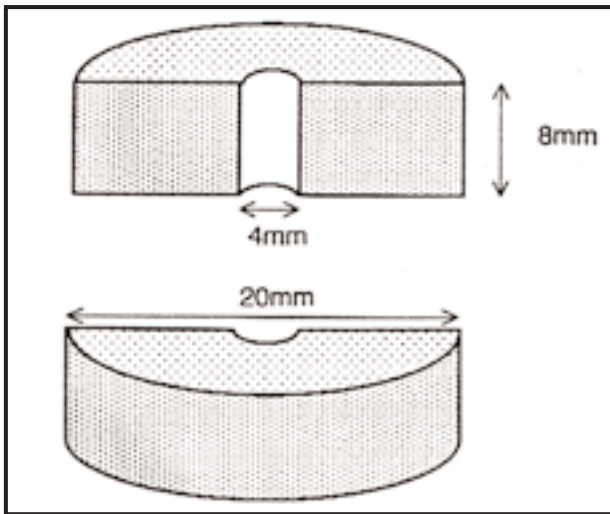
Συσκευές φωτοπολυμερισμού	Τύπος λυχνίας	Ένταση ακτινοβολίας	Κατασκευαστής
Ledemetron	LED	1220 mW/cm ²	Kerr Corp., Danbury, USA
Elipar 2500	QTH	810 mW/cm ²	3M ESPE, Dental Products, Seefeld, Germany
Elipar Visio	QTH	410 mW/cm ²	3M ESPE, GmbH & Co. KG Seefeld, Germany

τηση του μήκους κύματος, μεταξύ 350 nm και 650 nm και της σχετικής έντασης της φωτεινής δέσμης. Η διάμετρος του ακρορυγχίου των τριών συσκευών πολυμερισμού ήταν 6mm 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 των σύνθετων ρητινών που μελετήθηκαν, κατασκευάστηκαν κυλινδρικά δοκίμια διαστάσεων 8 mm μήκους και 4 mm διαμέτρου, με τη χρησιμοποίηση κυλινδρικής μήτρας από ανοξειδωτο χάλυβα, η οποία χωριζόταν σε δύο ίσα τμήματα και στο κέντρο της υπήρχε κενός κυλινδρι-

κός χώρος με διάμετρο 4 mm και μήκος 8 mm, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.

Η κυλινδρική μήτρα τοποθετήθηκε πάνω σε λεπτή γυάλινη 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 γυάλινης πλάκας μικροσκοπίου επάνω στην ταινία του πολυεστέρα. Η



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

μήτρα και οι ταινίες πιέστηκαν μεταξύ των δύο γυάλινων πλακών έτσι ώστε να αφαιρεθεί η περίσσεια του υλικού. Η γυάλινη πλάκα που κάλυπτε το άνω μέρος της μήτρας αφαιρέθηκε, η μήτρα τοποθετήθηκε σε μαύρη βάση και το ρύγχος της συσκευής πολυμερισμού τοποθετήθηκε σε επαφή με την ταινία πολυεστέρα στο άνω στόμιο της μήτρας, δια μέσου του οποίου έγινε ο πολυμερισμός των δοκιμίων.

Για την επιβεβαίωση της σταθερότητας της έντασης των συσκευών πολυμερισμού γινόταν συχνή μέτρηση της έντασης τους (κάθε 5 δοκίμια) με το ραδιόμετρο Hilux. Όλες η σύνθετες ρητίνες πολυμερίστηκαν για το χρονικό διάστημα που προτείνει ο κατασκευαστής τους για τη συγκεκριμένη συσκευή πολυμερισμού (συσκευή αλογόνου: 40 sec, συσκευή LED: 20 sec). Μετά τον πολυμερισμό το δοκίμια αφαιρέθηκαν προσεκτικά από τη μήτρα και το ανεπαρκώς πολυμερισμένο μαλακό υλικό αφαιρέθηκε από το κάτω μέρος του δοκιμίου με απόξεση με πλαστική σπάθη.

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. Για κάθε απόχρωση μετρήθηκαν πέντε δοκίμια. Όλη η διαδικασία της κατασκευής των δοκιμίων και των μετρήσεων έγινε σε δωμάτιο θερμοκρασίας 23 ± 1 °C από τον ίδιο ερευνητή.

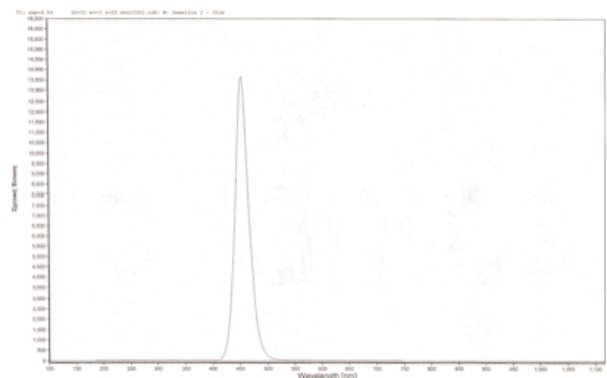
Οι μετρήσεις αναλύθηκαν στατιστικά με τις μεθόδους One Way ANOVA και Two Way ANOVA. Η προσαρμογή στην κανονική κατανομή ελέγχθηκε με το Shapiro-Wilk test και ο έλεγχος της ομοιογένειας των διασπορών έγινε με το Levene's test. Οι επιμέρους συγκρίσεις κατά ζεύγη έγιναν με τη μέθοδο Bonferroni. Η ανάλυση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

Για τον καθορισμό αν τα υλικά είναι αποδεκτά στις απαιτήσεις της προδιαγραφής ISO 4049:2000 για το βάθος πολυμερισμού, εφαρμόστηκε το κριτήριο επιτυχία/αποτυχία (pass/fail)¹⁹. Με βάση την προδιαγραφή του ISO 4049:2000 ως βάθος πολυμερισμού καθορίστηκε το 50% του μήκους του δοκιμίου μετά τον πολυμερισμό του στον χρόνο που προτείνει ο κατασκευαστής. Με βάση το κριτήριο αυτό το βάθος πολυμερισμού των τριών πρώτων δοκιμίων πρέπει να είναι μεγαλύτερο ή ίσο με 1,5 mm. Έτσι λοιπόν τα 3 πρώτα δοκίμια από κάθε υλικό που πολυμερίστηκαν στον χρόνο πολυμερισμού που προτείνει ο κατασκευαστής, χρησιμοποιήθηκαν για την εφαρμογή του κριτηρίου επιτυχία/αποτυχία.

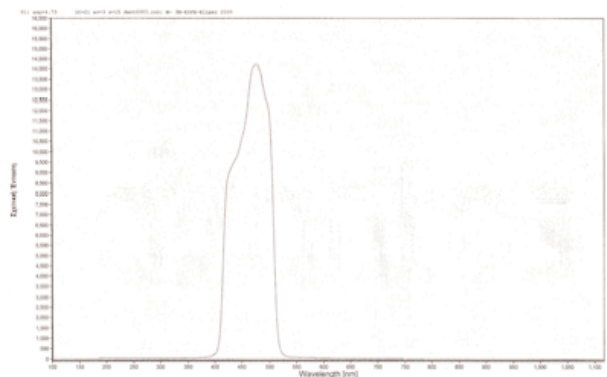
Αποτελέσματα

Τα Διαγράμματα 1, 2 και 3 παρουσιάζουν τα αποτελέσματα των μετρήσεων της κατανομής του φάσματος των τριών συσκευών πολυμερισμού που έγιναν με το φασματοφωτόμετρο.

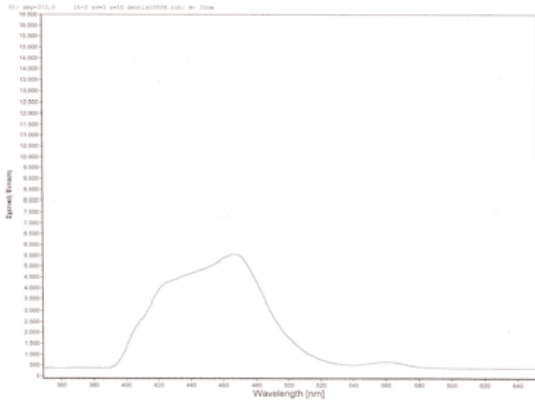
Τα Διαγράμματα 4-9 παρουσιάζουν τη μέση τιμή (Mean) και την τυπική απόκλιση (Standard Deviation) των μετρήσεων του βάθους πολυμερισμού όλων των συνδυασμών μεταξύ των υλικών, των χρωμάτων



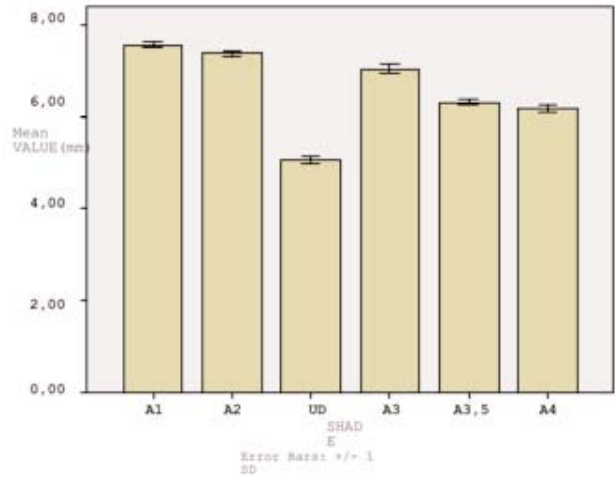
Διάγραμμα 1. Η καταγραφή του φάσματος εκπομπής της ακτινοβολίας για τη συσκευή LED.



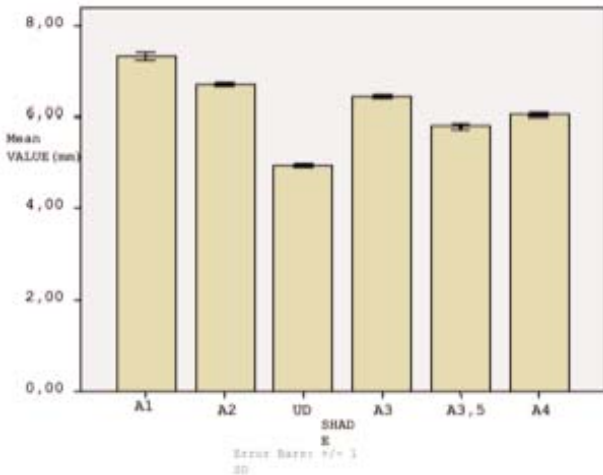
Διάγραμμα 2. Η καταγραφή του φάσματος εκπομπής της ακτινοβολίας για τη συσκευή Elipar 2500.



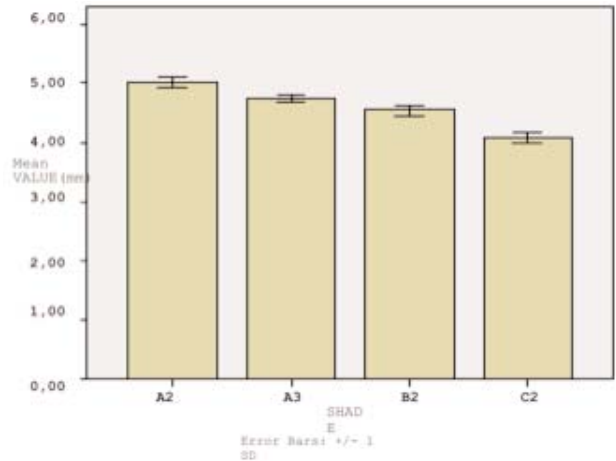
Διάγραμμα 3. Η καταγραφή του φάσματος εκπομπής της ακτινοβολίας για τη συσκευή Elipar Visio.



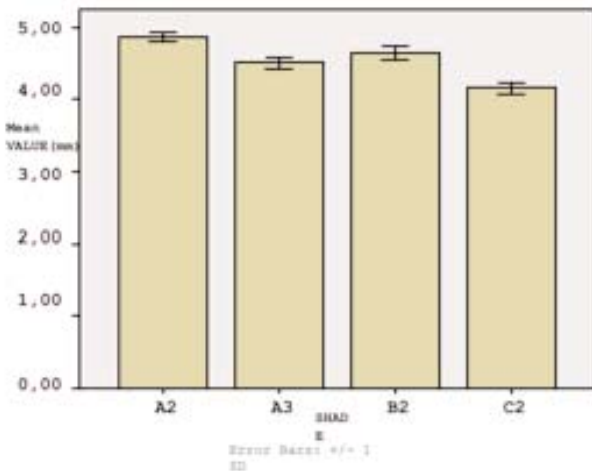
Διάγραμμα 6. Η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση σε mm του βάθους πολυμερισμού της σύνθετης ρητίνης Filtek Z250 που πολυμερίστηκε με τη συσκευή Elipar 2500.



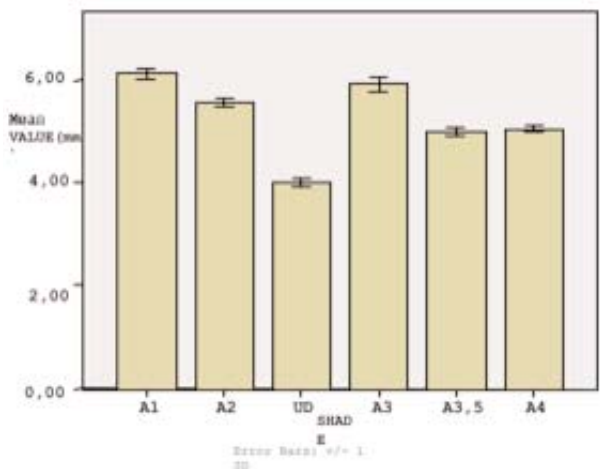
Διάγραμμα 4. Η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση σε mm του βάθους πολυμερισμού της σύνθετης ρητίνης Filtek Z250 που πολυμερίστηκε με τη συσκευή LED.



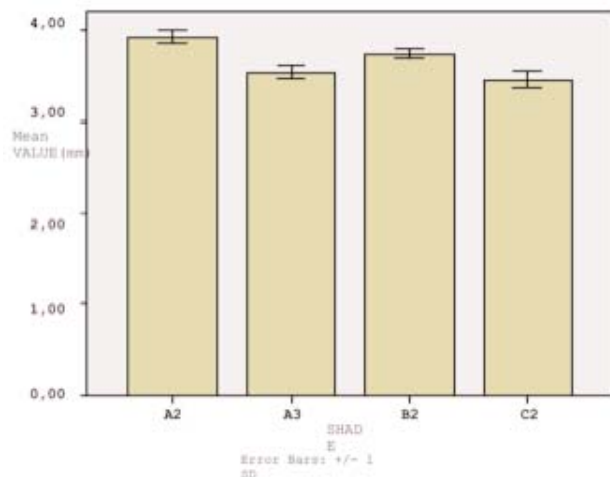
Διάγραμμα 7. Η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση σε mm του βάθους πολυμερισμού της σύνθετης ρητίνης Filtek Silorane που πολυμερίστηκε με τη συσκευή Elipar 2500.



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



Διάγραμμα 8. Η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση σε mm του βάθους πολυμερισμού της σύνθετης ρητίνης Filtek Z250 που πολυμερίστηκε με τη συσκευή Elipar Visio.



Διάγραμμα 9. Η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση σε mm του βάθους πολυμερισμού της σύνθετης ρητίνης Filtek Silorane που πολυμερίστηκε με τη συσκευή Elipar Visio.

και των συσκευών πολυμερισμού.

Ο Πίνακας IV παρουσιάζει τη μέση τιμή του ½ του βάθους πολυμερισμού, τον αριθμό των δοκιμών με μήκος $\geq 1.5\text{mm}$ και το αποτέλεσμα της δοκιμής (επιτυχία/αποτυχία) με βάση τον ISO 4049: 2000.

Από τις μετρήσεις της κατανομής του φάσματος 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. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η μεγαλύτερη ένταση της συσκευής Ledemetron εκπέμπεται στο μήκος κύματος 456,2 nm, η μεγαλύτερη ένταση της συσκευής Elipar 2500 εκπέμπεται στο μήκος κύματος 473,4 nm και η μεγαλύτερη ένταση της συσκευής Elipar Visio εκπέμπεται στο μήκος κύματος

467,1 nm.

Από την ανάλυση διασποράς (ANOVA) βρέθηκε ότι σε όλους τους συνδυασμούς μεταξύ των υλικών, των χρωμάτων και των συσκευών πολυμερισμού υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μέσων τιμών των ομάδων των χρωμάτων ($p < 0.001$).

Επίσης από την ανάλυση διασποράς (ANOVA) βρέθηκε ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ όλων των συνδυασμών σύνθετης ρητίνης και συσκευής πολυμερισμού για τις αποχρώσεις A2 και A3.

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

1. Κατά τον πολυμερισμό με τη συσκευή LED της σύνθετης ρητίνης Filtek Z250 υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ κάθε ζεύγους χρωμάτων για κάθε σύγκριση ($p < 0.001$).
2. Κατά τον πολυμερισμό με τη συσκευή LED της σύνθετης ρητίνης Filtek Silorane υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ κάθε ζεύγους χρωμάτων για κάθε σύγκριση ($p < 0.001$) εκτός των A3-B2 που δε διαφέρουν ($p = 0.145$).
3. Κατά τον πολυμερισμό με τη συσκευή Elipar 2500 της σύνθετης ρητίνης Filtek Z250 υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ κάθε ζεύγους χρωμάτων για κάθε σύγκριση ($p < 0.05$) εκτός των A3,5-A4 που δε διαφέρουν ($p = 0.249$).
4. Κατά τον πολυμερισμό με τη συσκευή Elipar 2500 της σύνθετης ρητίνης Filtek Silorane υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ κάθε ζεύγους χρωμάτων για κάθε σύγκριση ($p < 0.001$).
5. Κατά τον πολυμερισμό με τη συσκευή Elipar Visio της σύνθετης ρητίνης Filtek Z250 υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ κάθε ζεύγους

ΠΙΝΑΚΑΣ IV

Η μέση τιμή του ½ του βάθους πολυμερισμού, ο αριθμός των δοκιμών με μήκος $\geq 1.5\text{mm}$ και το αποτέλεσμα της δοκιμής με βάση τον ISO.

Υλικό	Βάθος πολυμερισμού/2			Αριθμός δοκιμών $\geq 1.5\text{mm}$			Επιτυχής (+) Μη επιτυχής(-)		
	LED	El.2500	El.Visio	LED	El.2500	El.Visio	LED	El.2500	El.Visio
Filtek Z250	3.68	3.78	3.07	3	3	3	+	+	+
A1	3.36	3.68	2.78	3	3	3	+	+	+
A2	3.23	3.51	2.96	3	3	3	+	+	+
A3	2.91	3.15	2.51	3	3	3	+	+	+
A3,5	3.03	3.08	2.53	3	3	3	+	+	+
A4	2.47	2.53	2.01	3	3	3	+	+	+
I	4.00	4.00	4.00	3	3	3	+	+	+
Filtek Silorane									
A2	2.44	2.51	1.96	3	3	3	+	+	+
A3	2.26	2.37	1.76	3	3	3	+	+	+
B2	2.33	2.27	1.87	3	3	3	+	+	+
C2	2.08	2.05	1.72	3	3	3	+	+	+

χρωμάτων για κάθε σύγκριση ($p < 0.001$) εκτός των A3,5-A4 που δε διαφέρουν ($p = 1.00$)

6. Κατά τον πολυμερισμό με τη συσκευή Elipar Visio της σύνθετης ρητίνης Filtek Silorane υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ κάθε ζεύγους χρωμάτων για κάθε σύγκριση ($p < 0.001$) εκτός των A3-C2 που δε διαφέρουν ($p = 0.443$)

Από τις κατά ζεύγη συγκρίσεις με τη μέθοδο Bonferroni του βάθους πολυμερισμού των σύνθετων ρητινών των αποχρώσεων A2 και A3 και της επίδρασης στο βάθος πολυμερισμού όλων των συσκευών πολυμερισμού βρέθηκε ότι:

1. Οι δύο σύνθετες ρητίνες μεταξύ τους παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική διαφορά και στις δύο αποχρώσεις ($p < 0.001$).
2. Οι τρεις συσκευές πολυμερισμού μεταξύ τους παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική διαφορά και στις δύο αποχρώσεις ($p < 0.001$).

Το μεγαλύτερο βάθος πολυμερισμού παρουσίασε η συσκευή πολυμερισμού Elipar 2500 και ακολούθησαν οι συσκευές Ledemetron και Elipar Visio.

Όλα τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν πέτυχαν στη δοκιμασία βάθους πολυμερισμού με βάση την προδιαγραφή ISO 4049:2000. Δηλαδή το 50% του βάθους πολυμερισμού τους ήταν μεγαλύτερο από 1,5 mm.

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 της σύνθετης ρητίνης που πολυμερίζει, 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/cm²²⁰.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η συσκευή Ledemetron παρουσιάζει το στενότερο εύρος φάσματος σε σύγκριση με τις άλλες δύο συσκευές πολυμερισμού, 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. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η μεγαλύτερη ένταση της συσκευής Ledemetron εκπέμπεται στο μήκος κύματος 456,2 nm, η μεγαλύτερη ένταση της συσκευής Elipar 2500 εκπέμπεται στο μήκος κύματος 473,4 nm και η μεγαλύτερη ένταση της συσκευής Elipar Visio εκπέμπεται στο μήκος κύματος 467,1 nm. Έχει βρεθεί ότι για μια σύνθετη

ρητίνη που περιέχει ως φωτοενεργοποιητή την καμφοροκινόνη, όπως στις σύνθετες ρητίνες που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη, το πλέον κατάλληλο μήκος κύματος για να επιτευχθεί καλύτερος πολυμερισμός είναι τα 465 nm²¹.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το βάθος πολυμερισμού των σύνθετων ρητινών που μελετήθηκαν, 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 παρουσίασε η κοπτική διαφάνεια (I), ενώ το μικρότερο βάθος παρουσίασε η απόχρωση της οδοντίνης (UD). Το μεγαλύτερο βάθος πολυμερισμού που παρουσίασαν οι κοπτικές διαφάνειες όπως φαίνεται οφείλεται στη μεγάλη διαπερατότητα που έχουν οι συγκεκριμένες αποχρώσεις, αλλά και στη διαφορετική σύνθεση των ανόργανων ενισχυτικών ουσιών που διαθέτουν, με αποτέλεσμα τη σε βάθος διείσδυση της φωτεινής δέσμης και τον επαρκή πολυμερισμό των βαθύτερων στρωμάτων²²⁻²⁴. Το μικρότερο βάθος πολυμερισμού, που παρουσίασε η απόχρωση της οδοντίνης, φαίνεται να οφείλεται στη μικρή διαπερατότητα που έχουν οι συγκεκριμένες αποχρώσεις, με αποτέλεσμα την αδυναμία διείσδυσης της φωτεινής δέσμης και έτσι τον ανεπαρκή πολυμερισμό των κατώτερων στρωμάτων²²⁻²⁴. Τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν με τα αποτελέσματα των μετρήσεων άλλων ερευνητών, που βρήκαν ότι οι πιο σκούρες αποχρώσεις δεν πολυμερίζονται σε τόσο βάθος όσο οι ανοιχτές αποχρώσεις και ότι οι χρωστικές που χρησιμοποιούνται κατά τη βιομηχανική παρασκευή των σύνθετων ρητινών επηρεάζουν το βάθος πολυμερισμού και τη σκληρότητα των συνθέτων ρητινών⁸⁵⁻²⁵⁻²⁹. Συμφωνούν επίσης με τα αποτελέσματα των μετρήσεων του Shortall³⁰, ο οποίος μέτρησε το βάθος πολυμερισμού των διαφόρων αποχρώσεων της σύνθετης ρητίνης Filtek Z250 με τρεις διαφορετικές συσκευές πολυμερισμού. Το μικρότερο βάθος πολυμερισμού που παρουσίασαν οι κίτρινες αποχρώσεις, είναι πιθανό 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 πολυμερισμού³¹.

Το βάθος πολυμερισμού της κοπτικής διαφάνειας (I) σε όλες τις μετρήσεις ήταν μεγαλύτερο από τα 8mm του μήκους της κυλινδρικής μήτρας. Για το λόγο αυτό τα αποτελέσματα των μετρήσεων των δοκιμών 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 της οργανικής μήτρας (μονομερή), η περιεκτικότητα σε ανόργανες ενισχυτικές ουσίες (fillers), ο συντελεστής διαπερατότητας του φωτός, η περιεκτικότητα σε καταλύτη, η ένταση της ακτινοβολίας της συσκευής πολυμερισμού και η διάρκεια της ακτινοβόλησης⁸.

Τα χρώματα A2 και A3, τα οποία ήταν κοινά στις δύο σύνθετες ρητίνες που μελετήθηκαν, παρουσίασαν διαφορετικό βάθος πολυμερισμού για κάθε σύνθετη ρητίνη και για κάθε μία από τις τρεις συσκευές πολυμερισμού. Η Filtek Silorane παρουσίασε μικρότερο βάθος πολυμερισμού σε σύγκριση με τη σύνθετη ρητίνη Filtek Z250. Οι σιλοράνες διαφέρουν από τις άλλες σύνθετες ρητίνες ως προς το σύστημα κατάλυσης και ως προς τα μονομερή τα οποία περιέχουν. Έτσι η διαφορά στο βάθος πολυμερισμού οφείλεται κυρίως στα διαφορετικά μονομερή, τα οποία είναι πιθανό να παρουσιάζουν διαφορετικές οπτικές ιδιότητες, όπως είναι η διαφορά του δείκτη διάθλασης μονομερών/ενισχυτικών ουσιών και ο συντελεστής διαπερατότητας³².

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η συσκευή πολυμερισμού 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. Η διάρκεια ακτινοβόλησης είναι ένας σημαντικός παράγοντας για την επίτευξη μεγαλύτερου βάθους πολυμερισμού. Η συσκευή Elipar Visio παρουσίασε το μικρότερο βάθος πολυμερισμού, γεγονός που, όπως φαίνεται, 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^{26,33-41}. Οι DeWald και Ferracane⁴² 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 άνθρακα. Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων των μεθόδων αυτών βρέθηκε ότι αυτές καταλήγουν σε παρόμοια αποτελέσματα και έτσι επιβεβαιώνουν το κύρος της μεθόδου που χρησιμοποιήθηκε^{319,41,42}.

Για την εξέταση, αν τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν εναρμονίζονται με τις απαιτήσεις του ISO 4049:2000 για το βάθος πολυμερισμού, εφαρμόστηκε η σχετική προδιαγραφή η οποία ορίζει ως βάθος πολυμερισμού το 50% του μήκους του δοκιμίου της σύνθετης ρητίνης μετά την απομάκρυνση του απολυμέριστου υλικού με πλαστική σπάθη¹⁹. Άλλοι ερευνητές πρότειναν ως βάθος πολυμερισμού το 55% του μήκους του δοκιμίου⁴³. Με την τεχνική της απόξεσης του απολυμέριστου υλικού της σύνθετης ρητίνης για τη μέτρηση του βάθους πολυμερισμού έχει βρεθεί ότι στο σημείο του δοκιμίου που δεν αφαιρείται άλλο μαλακό υλικό με την πλαστική σπάτουλα, ο βαθμός πολυμερισμού της σύνθετης ρητίνης είναι 20-22%⁴⁴.

Η μέθοδος αυτή μπορεί να εφαρμοστεί εύκολα στο οδοντιατρείο επειδή δε χρειάζεται μεγάλος και ακριβός εξοπλισμός για την πραγματοποίησή της, ούτε απαιτεί πολύ χρόνο και εξειδικευμένες γνώσεις. Είναι χρήσιμη τόσο για τον έλεγχο της ποιότητας των εμφρακτικών υλικών όσο και για την αποτελεσματικότητα και συμβατότητα της συσκευής πολυμερισμού. Παρά το γεγονός ότι στο εμπόριο κυκλοφορούν συσκευές ελέγχου της έντασης της ακτινοβολίας των συσκευών πολυμερισμού, οι συσκευές αυτές από μόνες τους δε μπορούν να μας δώσουν στοιχεία για το ακριβές βάθος πολυμερισμού, επειδή αυτό δεν εξαρτάται μόνο από την ένταση της ακτινοβολίας της συσκευής αλλά και από τη σύνθεση, το χρώμα και τη διαπερατότητα του εμφρακτικού υλικού⁸.

Συμπεράσματα

Το βάθος πολυμερισμού των σύνθετων ρητινών που μελετήθηκαν επηρεάστηκε σημαντικά από την απόχρωση της σύνθετης ρητίνης. Το μεγαλύτερο βάθος πολυμερισμού παρουσίασαν η κοπτική διαφάνεια (I) και το μικρότερο βάθος η απόχρωση της οδοντίνης (UD).

Οι πλέον ανοιχτές αποχρώσεις στις δύο σύνθετες ρητίνες, παρουσίασαν το μεγαλύτερο βάθος πολυμερισμού, ενώ οι αποχρώσεις προς το κίτρινο παρουσίασαν το μικρότερο βάθος.

Τα αποτελέσματα του κριτηρίου επιτυχία/αποτυχία που εφαρμόστηκε έδειξαν ότι όλες οι σύνθετες ρητίνες που μελετήθηκαν εναρμονίζονται με την προδιαγραφή του ISO 4049:2000 για το βάθος πολυμερισμού.

Σε ό,τι αφορά την παράμετρο συσκευή πολυμερισμού το μεγαλύτερο βάθος πολυμερισμού παρουσίασε η συσκευή πολυμερισμού Elipar 2500 και ακολούθησαν οι συσκευές Ledemetron και Elipar Visio, ενώ σε ό,τι αφορά την παράμετρο σύνθετη ρητίνη το μεγαλύτερο βάθος πολυμερισμού παρουσίασε η σύνθετη ρητίνη Filtek Z250.

Βιβλιογραφία

1. Da Rosa Rodolpho PA, Cenci MS, Donassollo TA, Loguércio AD, Demarco FF. Clinical evaluation of posterior composite restorations: 17-year findings. *J Dent* 2006; 34:427-35.
2. Manhart J, Chen H, Hamm G, Hicket R. Buonocore Memorial Lecture. Review of the clinical survival of direct and indirect restorations in posterior teeth o the permanent dentition. *Oper Dent* 2004; 29:481-508.
3. Pilo R & Cardash HS. Post-irradiation polymerization of different anterior and posterior visible light activated resin composites. *Dent Mater* 1992; 8:299-304.
4. Hansen EK & Asmussen E. Correlation between depth of cure and surface hardness of a light activated resin. *Scandinavian Journal of Dental Research* 1993; 101:62-4.
5. Ferracane JL. Dental composites: Present status and research directions. *Sec. Int. Congr. Dent Mater* 1993; 49-53.
6. Asmussen E. Factors affecting the quantity of remaining double bonds in restorative resin polymers. *Scandinavian J Dent Res* 1982; 90:490-96.
7. Caughman WF, Caughman GB, Shiflet RA, Rueggeber F, Schuster GS. Correlation of cytotoxicity, filler loading and curing time of dental composites. *Biomaterials* 1991; 12:737-40.
8. Shortall AC, Wilson HJ, Harrington E. Depth of cure of radiation activated composite restoratives influence of shade and opacity. *J Oral Rehabil* 1995; 22:337-42.
9. Weinmann W, Guggenberger R, Stippschild A, Dede K. Volume shrinkage of a new filling material based on siloranes. *J Dent Res* 2001; 80:780.
10. Weinmann W, Luchterhandt T, Stippschild A. Comparative testing of volumetric shrinkage and sealing of silorane and methacrylate filling materials. *J Dent Res* 2002; 81:417.
11. Dede K, Weinmann W, Guggenberger R. Comparison of two ways to determine polymerization shrinkage of composites. *J Dent Res* 2004; 83 (Abstract No 0057).
12. Braga RR, Ferracane JL. Alternatives in polymerization contraction stress management. *Crit Rev Oral Biol Med* 2004; 15:176-84.
13. Weinmann W, Thalacker C, Guggenberger R. Siloranes in dental composites. *Dent Mater* 2005; 21:68-74.
14. Kostoryz EI, Zhu Q, Zhao H, Glaros AG, Eick JD. Assessment of cytotoxicity and DNA damage exhibited by siloranes and oxiranes in cultured mammalian cells. *Mutation Res* 2007; 634:156-62.
15. Eick JD, Kotha SP, Chappelow CC. Properties of silorane-based dental resins and composites containing a stress-reducing monomer. *Dent Mater* 2007; 23:1011-1017.
16. Palin WM, Fleminf GJP, Nathwani H, Burke TFJ, Randall RC. In vitro cuspal deflection and microleakage of maxillary premolars restored with novel low-shrink dental composites. *Dent Mater* 2005; 21:324-35.
17. Fujibayashi K, Ishimaru K, Takahashi N, Kohno A. Newly developed curing unit using blue light-emitting diodes. *Dent Japan* 1998; 34:49-53.
18. Mills RW, Jandt KD, Ashworth SH. Dental composite depth of cure with halogen and blue light emitting diode technology. *Brit Dent J* 1999; 186:388-91.
19. International Organization of Standardization. ISO 4049:2000. Dentistry-polymer-based filling, restorative and luting materials. 3rd ed. Geneva, Switzerland: International Organization of Standardization:2000.
20. Ferracane JL. *Materials in Dentistry. Principles & Applications*. 2nd ed. Philadelphia Lippincott Williams & Wilkins, 2001.
21. Nomoto R. Effect of light wavelength on polymerization of light-cured resins. *Dent Mater* 1997; 16:60-73.
22. Rueggeberg FA, Caughman WF, Curtis JW Jr, Davis HC. Factors affecting cure at depths within light-activated resin composites. *Amer J Dent* 1993; 6:91-5.
23. Ruyter IE, Oysaed H. Conversion in different depths of ultraviolet and visible light activated composite materials. *Acta Odont Scand* 1982; 40:179-92.
24. 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.
25. Newman SM, Murray GA, Yates JL. Visible lights and visible-light-activated composite resins. *J Prosth Dent* 1989; 50:31-5.
26. Swartz ML, Phillips RW, Rhodes B. Visible light activated resins: Depth of cure. *J Amer Dent Assoc* 1983; 106:634-7.
27. Onose H, Sano H, Kanto H, Ando S, Hasuike T. Selected curing characteristics of light-activated composite resins. *Dent Mater* 1985; 1:48-54.
28. 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 Practice* 2008; 9:1-9.
29. Bennett A, Watts D. Composite shade effects on depth of cure for LED and QTH irradiation. *J Dent Res* 2003; 82 (Spec Issue B) Abstract No 1502.
30. Shortall AC. How light source and product shade influence cure depth for a contemporary composite. *J Oral Rehabil* 2005; 32:906-11.
31. Ηλιάδης Γ (1994) *Σύνθετες Ρητίνες*. Καφούσιας Ν, Μπατζάκη Γ, Σταθόπουλος Α *Οδοντιατρικά Βιοϋλικά*. Αθήνα, Εκδόσεις Ακίδα, 387-413.
32. Kawaguchi M, Fukushima T, Miyazaki K. The relationship between cure depth and transmission coefficient of visible light cured dental resin composites. *J Dent Res* 1994; 73:516-521.
33. Cook WD. Curing efficiency and ocular hazards of dental photopolymerization sources. *Biomaterials* 1986; 7:449-54.
34. Fan PL, Wozniak WT, Reyes WD, Stanford JW. Irradiance of visible light-curing units and voltage variation effects. *J Amer Dent Assoc* 1987; 115:442-5.
35. Dunne SM, Davies BR, Millar BJ. A survey of the effectiveness of dental light-curing units and a comparison of light testing devices. *Brit Dent J* 1996; 180:411-6.
36. Hansen EK, Asmussen E. Visible-light curing units: correlation between depth of cure and distance between exit window and resin surface. 1997; *Acta Odont Scand* 55:162-6.
37. 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.

38. Ray NJ. Depth of cure of visible light-activated composite restorative materials. *J Ir Dent Assoc* 1986; 32:17-8.
39. Soh MS, Yap AUJ, Siow KS. Comparative depths of cure among various curing light types and methods. *Oper Dent* 2004; 29:9-15.
40. Διονυσόπουλος Π, Watts D. Βάθος πολυμερισμού υλικών κάλυψης οπών και σχισμών. *Στόμα* 2007; 35:283-9.
41. 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 Amer Dent Assoc* 2002; 133:429-34.
42. 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.
43. Pires JAF, Critko E, Denehy GC, Swift JEJ. Effects of curing tip distance on light intensity and composite microhardness. *Quint Int* 1993; 24:517-21.
44. Halvorson RH, Erickson RL, Davidson CL. An energy conversion relationship predictive of conversion profiles and depth of cure for resin-based composite. *Oper Dent* 2003; 28:307-14.

