

Μελέτη της κινητικής της συστολής πολυμερισμού υλικών κάλυψης οπών και σχισμών

Π. ΔΙΟΝΥΣΟΠΟΥΛΟΣ¹, D.C. WATTS²

Εργαστήριο Οδοντικής Χειρουργικής, Οδοντιατρική Σχολή του Α.Π.Θ.
Εργαστήριο Biomaterials Science, Turner Dental School, University of Manchester

Polymerization shrinkage kinetics of pit and fissure sealants.

P. DIONYSOPOULOS¹, D.C. WATTS²

Dept. of Restorative Dentistry, Aristotle University of Thessaloniki
Dept. of Biomaterials Science, Turner Dental School, University of Manchester

Περίληψη

Ο σκοπός της εργασίας αυτής ήταν η μελέτη της κινητικής της συστολής, την οποία υφίσταται κατά τον πολυμερισμό μια σειρά υλικών ΚΟΣ που κυκλοφορούν τα τελευταία χρόνια στην αγορά, με τη χρήση μιας ειδικής συσκευής, η οποία είναι ένα χρήσιμο εργαλείο μέτρησης της συστολής πολυμερισμού σε συνάρτηση με το χρόνο. Τα υλικά που μελετήθηκαν ήταν τα εξής: Teethmate (Kurary), Concise (3M), Helioseal F (Vivadent), Fluorosealant (Shofu Inc), Admira seal (Voco), Fissurit F(Voco), Delton (Dentsply).

Κάθε υλικό τοποθετήθηκε στο κέντρο ενός ορειχάλκινου δακτυλίου, ο οποίος ήταν στο μέσο μιας γυάλινης πλάκας. Επάνω στο δακτύλιο τοποθετήθηκε μια εύκαμπτη γυάλινη πλάκα και το υλικό φωτοπολυμερίστηκε από την κάτω πλευρά. Ο βαθμός υποχώρησης της γυάλινης πλάκας, λόγω της συστολής, καταγράφηκε με τη βοήθεια ενός ευαίσθητου ηλεκτρονικού μετρητή, με τη μορφή καμπύλης. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα υλικά που μελετήθηκαν παρουσίασαν μεταξύ τους σημαντικές διαφορές ως προς τη συστολή πολυμερισμού και ότι η συστολή πολυμερισμού συνεχίστηκε και μετά τη λήξη της επίδρασης της φωτεινής πηγής.

Επίσης, έδειξαν ότι ο μικρότερος χρόνος πολυμερισμού είχε ως αποτέλεσμα μικρότερη συστολή.

Summary

The purpose of this study was to determine the polymerization shrinkage kinetics of a range of pit and fissure sealants available on the market using a "bonded disk" measurement device.

Seven pit and fissure materials were selected for this study: Teethmate (Kurary), Concise (3M), Helioseal F (Vivadent), Fluorosealant (Shofu Inc), Admira seal (Voco), Fissurit F(Voco), Delton (Dentsply).

Each measurement was conducted at 23°C as follows: Disc-shaped specimens of unset materials were placed into the glass base centrally within the bonded brass ring.

The top edge of the ring and the disc specimen were covered with a flexible diaphragm consisting of a 22mm square glass microscope coverslip of 0.13mm thickness. A centrally aligned displacement transducer was positioned in contact with the center of the coverslip. Cure was initiated from below, by transillumination of the microscope slide beneath the specimen, using a fibre-optic light cure. The curing time was 10 and 20 sec. The coverslip deflects as shrinkage takes place and the deflection at the center of the coverslip was monitored over time by the transducer which has a sensitivity higher than 0,1µm the polymerization shrinkage values for the tested materials 60min after initiation of curing were: Teethmate: (8,7±0,65)%, Concise: (7,92±0,27)%, Helioseal (6,03±0,53)%, Fluorosealant F: (8,20±0,25)%, Admira: (5,64±0,48)%, Fissurit (5,16±0,27)%, Delton: (4,78±0,25) %.

The polymerization shrinkage data were analyzed by analysis of variance (ANOVA), Tukey's test and t-test, to determine the differences between the materials. It was concluded that: a. The range of polymerization shrinkage of the tested materials was very wide, b. The values of polymerization shrinkage increased 60min after light curing, c. An decreased exposure time resulted in less polymerization shrinkage.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Υλικά ΚΟΣ, Πολυμερισμός, Συστολή.

KEY WORDS: Sealants, Polymerisation, Shrinkage.

Στάλθηκε στις 29.3.2006. Εγκρίθηκε στις 4.10.2006.

¹ Αναπλ. Καθηγητής

² Καθηγητής και Διευθυντής Εργαστηρίου Biomaterials Science, Turner Dental School, University of Manchester.

Received on 29th March 2006. Accepted on 4th Oct., 2006.

¹ Assoc. Professor

² Professor and Director of Dept.

Εισαγωγή

Η μέθοδος κάλυψης οπών και σχισμών (ΚΟΣ) με ρητινώδη υλικά εφαρμόζεται εδώ και 35 περίπου χρόνια και είναι μια αποτελεσματική, συντηρητική και οικονομική μέθοδος προστασίας από τη μασητική τερηδόνα, ιδιαίτερα σε παιδιά με μεγάλη ευαισθησία στην τερηδόνα^{1,2,3}. Παρά τη μεγάλη πρόοδο που έγινε στους συγκολλητικούς παράγοντες, τα τελευταία χρόνια, δεν έγινε καμία σοβαρή βελτίωση στην τεχνολογία των υλικών ΚΟΣ από την εισαγωγή τους τη δεκαετία του 1970⁴. Η συγκόλληση των φωτοπολυμεριζομένων ρητινών (ΚΟΣ) στη μασητική αδαμαντίνη γίνεται κάτω από ιδιαίτερα δύσκολες συνθήκες. Η επιφάνεια της αδαμαντίνης, κατά κανόνα, δεν αφαιρείται, είναι μολυσμένη με μικρόβια και έχει υψηλό παράγοντα C (γεωμετρικός παράγοντας) ανάλογο με τις κοιλότητες I ομάδας⁵. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για ΚΟΣ, έχουν υψηλή αναλογία ρητίνης σε σχέση με τις ενισχυτικές ουσίες και για το λόγο αυτό εκτιμάται ότι παρουσιάζουν μεγάλη συστολή πολυμερισμού. Ορισμένα μάλιστα από αυτά δεν περιέχουν καθόλου ενισχυτικές ουσίες⁶.

Η συστολή πολυμερισμού συνοδεύει πάντα την αντίδραση πήξης των ρητινικών εμφρακτικών υλικών που περιέχουν μεθακρυλικά μονομερή και είναι ένα από τα εγγενή χαρακτηριστικά τους^{7,8,9}.

Η συστολή πολυμερισμού μπορεί να αντισταθμιστεί στα αρχικά στάδια του πολυμερισμού από τη ροή της σύνθετης ρητίνης κατά την προζελατινώδη φάση¹⁰.

Αργότερα, η προσρόφηση νερού, η οποία προκαλεί διαστολή της σύνθετης ρητίνης, αντισταθμίζει εν μέρει τη συστολή πολυμερισμού και ελαττώνει τα κενά που δημιουργούνται στα όρια των εμφράξεων^{11,12}. Υπάρχουν διάφοροι παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν άμεσα τη συστολή πολυμερισμού των σύνθετων ρητινών, όπως το μέγεθος και το σχήμα της εμφράξης, η τεχνική τοποθέτησης του εμφρακτικού υλικού και ο τρόπος πολυμερισμού, χημικός ή με ορατό φως κλπ.¹³

Η συστολή των συνθέτων ρητινών μπορεί να χωριστεί σε δύο φάσεις, στην προζελατινώδη (pre-gel) και στη μεταζελατινώδη (post-gel)¹⁰. Κατά τη προζελατινώδη φάση υφίσταται μια ολίσθηση μεταξύ των στρωμάτων της ρητίνης και οι τάσεις συστολής εκτονώνον-

ται¹⁰. Κατά τη μεταζελατινώδη φάση η ολίσθηση σταματά και αναπτύσσονται σημαντικές τάσεις στα τοιχώματα του δοντιού, οι οποίες επηρεάζουν το δεσμό μεταξύ σύνθετης ρητίνης και οδοντικού ιστού¹³.

Οι σύγχρονες σύνθετες ρητίνες υφίστανται ογκομετρική συστολή πολυμερισμού από 1% μέχρι 5%¹⁴, γεγονός που μπορεί να οδήγησε σε μια σειρά κλινικών προβλημάτων, όπως μετεμφρακτικός πόνος κατάγμα του δοντιού και αποκόλληση της ρητίνης από το δόντι, η οποία οδηγεί σε μικροδιδείσδυση και δευτερογενή τερηδόνα.

Ο σκοπός της εργαστηριακής αυτής μελέτης ήταν η μελέτη της κινητικής της συστολής πολυμερισμού, για χρονική διάρκεια μιας ώρας σύγχρονων εμπορικών σκευασμάτων κάλυψης οπών και σχισμών, καθώς και η επίδραση της ελάττωσης κατά το μισό του χρόνου ακτινοβολήσης στη συστολή πολυμερισμού.

Υλικά και μέθοδος

Τα υλικά κάλυψης οπών και σχισμών που μελετήθηκαν παρουσιάζονται στον πίνακα 1.

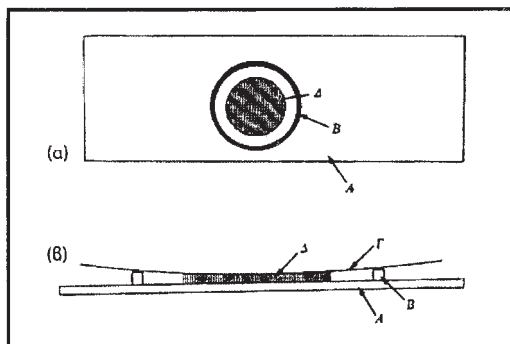
Η κινητική της συστολής πολυμερισμού των υλικών αυτών υπολογίστηκε με μία συσκευή (bonded-disc shrinkage-strain instrument) με την οποία μετρίεται ο βαθμός κάμψης μιας γυάλινης πλάκας, η οποία συνδέεται με τη σύνθετη ρητίνη κατά τη διάρκεια του πολυμερισμού¹⁵.

Στο κέντρο μιας γυάλινης πλάκας μικροσκοπίου διαστάσεων 75X25X1 mm είχε προσκολληθεί ορειχάλκινος δακτύλιος διαμέτρου 16 mm και ύψους 1 mm, μέσα στον οποίο τοποθετήθηκε ένα δοκίμιο υλικού κάλυψης οπών και σχισμών, διαμέτρου περίπου 8mm και ύψους περίπου 1,5 mm (Εικ. 1). Επάνω στο δακτύλιο και στο υλικό τοποθετήθηκε μια τετράγωνη εύκαμπτη και καθαρή γυάλινη πλάκα μικροσκοπίου διαμέτρου 22 mm και πάχους 0,13 mm (τύπος 0, Chance-Propper Ltd. Warley, U.K.), η οποία με τη βοήθεια μιας άκαμπτης γυάλινης πλάκας πιέστηκε έτσι, ώστε να έλθει σε επαφή με το άνω άκρο του κυλινδρικού δακτυλίου. Κατόπιν η γυάλινη πλάκα τοποθετήθηκε στο μεταλλικό τραπέζι της συσκευής μέτρησης της συστολής πολυμερισμού, το οποίο είχε θερμοκρασία περιβάλλοντος (23°C) (Εικ. 2). Ένας κάθετα ευθυγραμμισμένος

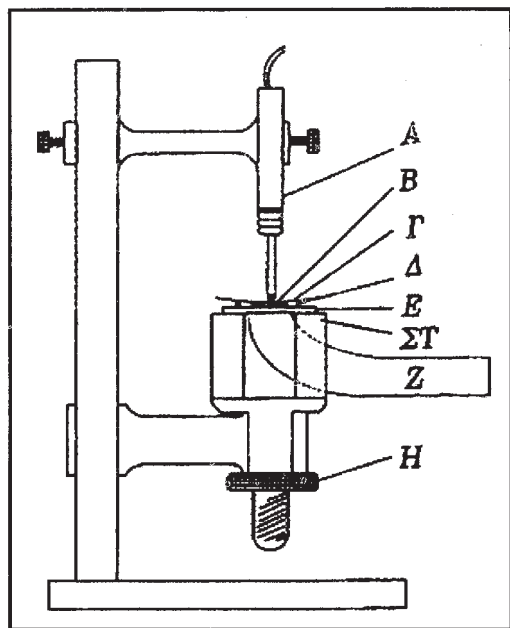
ΠΙΝΑΚΑΣ 1

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη

Κωδικός	Υλικό	Κατασκευαστής	Αρ. παρτίδας
TE	Teethmate	Kuraray Co, LTD, Osaka, Japan	00146A
FLU	Fluorosealant F ₅	Shofu Inc, Kyoto, Japan	119901
CON	Concise	3M Dent.Pr.Co, St.Paul, MN, USA	20010131
HE	Helioseal	Vivadent, Shaan, Liechtenstein	D04551
AD	Admira Seal	Voco, Cuxhaven, Germany	005160
FIS	Fissurit	Coco, Cuxhaven, Germany	10616
DEL	Delton	Dentsply De Trey GmdH, Constanz, German	10103



Εικ. 1. Σχηματική παράσταση κάτοψης (α) και από τα πλάγια (β) της γυάλινης πλάκας μικροσκοπίου Α, του ορειχάλκινου δακτυλίου Β, της εύκαμπτης πλάκας μικροσκοπίου Γ και του δοκιμίου Δ.



Εικ. 2. Σχηματική παράσταση της συσκευής μέτρησης της συστολής πολυμερισμού. (Α) Ηλεκτρονικός μετρητής της μεταβολής του ύψους της πλάκας. (Β) Δοκίμιο. (Γ) Λεπτή εύκαμπτη πλάκα πάχους 0,13mm. (Δ) Ορειχάλκινος δακτύλιος ύψους 1mm και διαμέτρου 16mm. (Ε) Γυάλινη πλάκα πάχους 1 mm. (ΣΤ) Μεταλλικό τραπέζιδιο. (Ζ) Ρύγχος συσκευής φωτοπολυμερισμού. (Η) Ρυθμιστής του ύψους του τραπεζιδίου.

ηλεκτρονικός μετρητής της μεταβολής του ύψους της επικαλυπτικής γυάλινης πλάκας (type GT 2000, RDP Electronics, Wolverhampton, UK) τοποθετήθηκε σε επαφή με το κέντρο της πλάκας. Ο πολυμερισμός πραγματοποιήθηκε από την κάτω επιφάνεια με ακτινοβολία του δοκιμίου διαμέσου της γυάλινης πλάκας με τη συσκευή πολυμερισμού Elipar Highlight Unit (Espé Dental AG, Seefeld, Germany). Η ένταση της λυχνίας ήταν 750 mW/cm² για όλες τις μετρήσεις, γεγονός που επιβεβαιώθηκε με τη συχνή μέτρηση της έντασης με ραδιόμετρο (Ortilux Model 100, SDS, Keer/Demetron, Danbury, CT, USA). Κατά τη διάρκεια του φωτοπολυμερισμού, λόγω της συστολής του υλικού, η πλάκα κάλυψης του δοκιμίου υπέστη κάμψη και ο βαθμός της κάμψης στο κέντρο της πλάκας μετρήθηκε με τον ηλεκτρονικό μετρητή, του οποίου η ευαισθησία ήταν μεγαλύτερη από ±0,1 μm. Για κάθε υλικό έγιναν 3 μετρήσεις. Η ηλεκτρονική συσκευή μέτρησης της μετακίνησης της πλάκας ήταν συνδεδεμένη με ηλεκτρονικό υπολογιστή, στον οποίο γινόταν η επεξεργασία των πληροφοριών.

Η καταγραφή της γραμμικής συστολής γινόταν ανά sec για χρονική διάρκεια 60 min και για κάθε δοκίμιο έγιναν συνολικά 3600 μετρήσεις. Με βάση τα αποτελέσματα των μετρήσεων σχηματίστηκαν γραφικές παραστάσεις της κινητικής της συστολής πολυμερισμού. Ο χρόνος φωτοπολυμερισμού των υλικών ήταν όσο προτείνει ο κατασκευαστής των υλικών και ήταν για όλα τα υλικά 20 sec, πλην του Fluorosealant F₅ που ήταν 40 sec. Σε μια δεύτερη σειρά μετρήσεων που έγινε, ο χρόνος φωτοπολυμερισμού ήταν 10 sec για όλα τα υλικά, πλην του Fluorosealant F₅ που ήταν 20 sec.

Τα αποτελέσματα αναλύθηκαν στατιστικά με τη μέθοδο ANOVA και το Tukey test (P<0,05). Η σύγκριση των τιμών της συστολής πολυμερισμού αμέσως μετά το φωτοπολυμερισμό με τη συστολή σε διάφορα χρονικά διαστήματα έγινε στατιστικά με το t-test (P<0,05).

Η σύγκριση των τιμών της συστολής πολυμερισμού αμέσως μετά το φωτοπολυμερισμό με τη συστολή σε διάφορα χρονικά διαστήματα έγινε στατιστικά με το t-test (P<0,05).

Η σύγκριση των τιμών της συστολής πολυμερισμού αμέσως μετά το φωτοπολυμερισμό με τη συστολή σε διάφορα χρονικά διαστήματα έγινε στατιστικά με το t-test (P<0,05).

Αποτελέσματα

Η συστολή πολυμερισμού επί της εκατό (%) (μέση τιμή και σταθερή απόκλιση) όλων των υλικών απόφραξης οπών και σχισμών, στα 10 sec μετά την έναρξη του φωτοπολυμερισμού, αμέσως μετά το φωτοπολυμερισμό για 20 sec (εκτός του Fluorosealant που διήρκησε 40 sec), καθώς και μετά 1, 4, 20, 30 και 60 min μετά την έναρξη του παρουσιάζονται στον πίνακα II. Ύστερα από 60 min το υλικό Teethmate παρουσίασε τη μεγαλύτερη τιμή συστολής (8,70±0,65%), ενώ το υλικό Deltone τη μικρότερη (4,79±0,25%). Οι τιμές των άλλων υλικών κυμάνθηκαν μεταξύ 8,2±0,25 και 4,79±0,25. Σε όλα τα υλικά παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική αύξηση της συστολής από τη χρονική στιγμή της λήξης του φωτοπολυμερισμού μέχρι τις χρονικές στιγμές των 20, 30 και 60 min από την έναρξη του πολυμερισμού (P<0,05).

Η μέση τιμή της συστολής πολυμερισμού, επί τοις εκατό (%) της συνολικής συστολής, στα χρονικά διαστήματα 10,20 sec και 1, 4, 20, 30 και 60 min μετά την έναρξη του φωτοπολυμερισμού παρουσιάζονται στον

ΠΙΝΑΚΑΣ II

Η μέση τιμή και η σταθερή απόκλιση % της συστολής πολυμερισμού των υλικών κάλυψης οπών και σχισμών που μελετήθηκαν, 10sec μετά την έναρξη του πολυμερισμού, αμέσως μετά τον πολυμερισμό που διήρκεσε 20 sec (εκτός του Fluorosealant που διήρκεσε 40 sec), καθώς και 1, 4, 20, 30 και 60 min μετά την έναρξή του.

ΥΛΙΚΟ	Μετά 10''	Μετά 20'' ή 40''	Μετά 60''	Μετά 4'	Μετά 20'	Μετά 30'	Μετά 60'
Teethmate	7,16±0,74	7,35±0,45	8,05±0,44	8,14±0,50	8,49±0,62	8,56±0,66	8,70±0,65
Fluorosealant	5,47±0,34	7,48±0,32	7,58±0,28	8,01±0,22	8,12±24	8,15±0,26	8,20±0,25
Concice	6,11±0,28	7,13±22	7,41±23	7,73±26	7,79±25	7,85±0,27	7,92±0,27
Helioseal	3,94±0,48	4,75±38	5,31±46	5,62±48	5,84±51	5,91±0,52	6,03±0,53
Admira	3,66±0,30	4,75±34	5,00±0,40	5,24±38	5,46±46	5,53±0,48	5,64±0,48
Fissurit	3,77±0,16	4,35±18	4,66±22	4,87±24	4,92±26	4,95±0,26	5,16±0,27
Delton	2,59±0,28	3,36±29	4,18±18	4,43±23	4,62±25	4,69±0,25	4,79±0,25

ΠΙΝΑΚΑΣ III

Η μέση τιμή της συστολής πολυμερισμού % της συνολικής συστολής στα χρονικά διαστήματα 10,20 sec, 1,4,20,30,60 min μετά την έναρξή του.

ΥΛΙΚΟ	Μετά 10''	Μετά 20'' ή 40''	Μετά 60''	Μετά 4'	Μετά 20'	Μετά 30'	Μετά 60'
Teethmate	82,41	83,86	92,60	93,6	96,80	98,40	100%
Fluorosealant	66,75	91,22	92,52	97,76	99,10	99,46	100%
Concice	77,23	90,11	93,65	97,62	98,42	99,14	100%
Helioseal	65,46	78,85	88,06	93,26	96,90	98,16	100%
Admira	65,02	84,31	88,80	92,92	96,98	98,16	100%
Fissurit	73,25	84,48	90,40	94,40	95,40	96,10	100%
Delton	54,18	70,32	87,35	92,54	96,85	97,96	100%

πίνακα III. Με την ολοκλήρωση του φωτοπολυμερισμού που διήρκεσε 20 sec (Fluorosealant 40 sec) η συστολή των υλικών σε σχέση με την ολική συστολή, ύστερα από 1 ώρα, κυμάνθηκε από 70,32% για το Delton μέχρι 91,22% για το Fluorosealant, ενώ μετά από 30 min η συστολή κυμάνθηκε από 97,96 για το Delton μέχρι 99,46 για το Fluorosealant.

Η συστολή πολυμερισμού (μέση τιμή και σταθερή απόκλιση) όλων των υλικών μετά από 60min ύστερα από το φωτοπολυμερισμό για χρονική διάρκεια όσο προτείνει ο κατασκευαστής και για χρονική διάρκεια το

μισό από αυτό που προτείνει ο κατασκευαστής, καθώς και οι στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των υλικών παρουσιάζονται στους πίνακες IV και V. Κατά τη σύγκριση των δύο τιμών βρέθηκε ότι σε όλες τις περιπτώσεις ο μικρότερος χρόνος πολυμερισμού είχε ως αποτέλεσμα μικρότερη τιμή συστολής πολυμερισμού, αλλά η διαφορά δεν ήταν στατιστικά σημαντική, εκτός από το υλικό Teethmate για το οποίο η διαφορά ήταν στατιστικά σημαντική ($P<0,05$).

Στην εικόνα 3 παρουσιάζεται η γραφική παράσταση της συστολής πολυμερισμού όλων των υλικών σε

ΠΙΝΑΚΑΣ IV

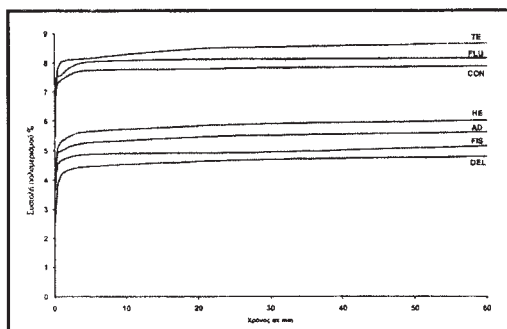
Μέσες τιμές και σταθερές αποκλίσεις (SD) της συστολής πολυμερισμού όλων των υλικών (60 min μετά την έναρξη του πολυμερισμού), καθώς και οι στατιστικές διαφορές τους ($p=0,05$) (ίδια γράμματα δείχνουν μη στατιστικά σημαντική διαφορά).

Υλικά	Χρόνος	Συστολή	Στατιστική διαφορά
Teethmate	20 sec	8,70 ± 0,65 %	α
Fluorosealant F ₅	40 sec	8,20 ± 0,25 %	α
Concice	20 sec	7,92 ± 0,27 %	α
Helioseal	20 sec	6,03 ± 0,53 %	β
Admira	20 sec	5,64 ± 0,68 %	β γ
Fissurit	20 sec	5,16 ± 0,37 %	β γ
Delton	20 sec	4,79 ± 0,25 %	γ

ΠΙΝΑΚΑΣ V

Μέσες τιμές και σταθερές αποκλίσεις (SD) της συστολής πολυμερισμού όλων των υλικών (60 min μετά την έναρξη του πολυμερισμού) ύστερα από χρόνο πολυμερισμού το μισό από το προτεινόμενο, καθώς και οι στατιστικές διαφορές τους ($p=0,05$) (ίδια γράμματα δείχνουν μη στατιστικά σημαντική διαφορά).

Υλικά	Χρόνος	Συστολή	Στατιστική διαφορά
Fluorosealant F ₅	20 sec	7,81 ± 1,01 %	α
Concice	10 sec	7,49 ± 0,26 %	α
Teethmate	10 sec	6,41 ± 0,53 %	α β
Helioseal	10 sec	5,57 ± 0,31 %	β γ
Admira	10 sec	5,19 ± 0,29 %	γ δ
Fissurit	10 sec	4,48 ± 0,54 %	δ ε
Delton	10 sec	4,04 ± 0,52 %	ε



Εικόνα 3. Γραφική παράσταση της συστολής πολυμερισμού όλων των υλικών σε συνάρτηση με το χρόνο από 0 μέχρι τα 60 min.

συνάρτηση με το χρόνο. Κοινό χαρακτηριστικό των γραφικών παραστάσεων ήταν ότι με την έναρξη του φωτοπολυμερισμού παρατηρήθηκε ταχεία συστολή, η οποία είχε σχεδόν γραμμική εξέλιξη σε συνάρτηση με το χρόνο κατά τη διάρκεια του πολυμερισμού. Στη συνέχεια, η ταχύτητα της συστολής ελαττώθηκε σημαντικά μέχρι το τέλος του χρόνου φωτοπολυμερισμού.

Συζήτηση

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση της συστολής πολυμερισμού των σύνθετων ρητινών συγκόλλησης, βασίζεται σε ένα σύστημα καμπόμενου δίσκου, του οποίου η κάμψη μετρήθηκε με μια ευαίσθητη ηλεκτρονική συσκευή και η συστολή πολυμερισμού καταγράφηκε σε συνάρτηση με το χρόνο με τη μορφή καμπύλης. Αποτελεί εξέλιξη της μεθόδου που περιγράφηκε αρχικά από τον Wilson, το 1978¹⁶ και αργότερα σε παραλλαγή από τους Walls et al, το 1988¹⁷. Πλεονεκτεί από το διαστολόμετρο, παλαιότερη μέθοδο μέτρησης της συστολής πολυμερισμού των σύνθετων ρητινών, διότι η μέτρηση είναι άμεση, ενώ η

μέθοδος του διαστολόμετρου δίνει έμμεσα αποτελέσματα μέσα από μια αριθμημένη στήλη νερού ή υδραργύρου, που συνδέεται με ένα δοχείο, το οποίο περιέχει το δοκίμιο^{9,18,19}. Η μέθοδος του διαστολόμετρου έχει το μειονέκτημα ότι είναι ευαίσθητη στις έστω και μικρές μεταβολές της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος ή και του δοκίμιου, λόγω εξώθερμης αντίδρασης, διότι προκαλείται συστολή ή διαστολή του υγρού που περιέχεται στη συσκευή. Άλλα πλεονεκτήματα της μεθόδου που χρησιμοποιήθηκε είναι το ότι η φωτεινή πηγή μπορεί να προσεγγίσει μέχρι 1 mm το δοκίμιο και το ότι το πάχος του δοκίμιου είναι μικρό με αποτέλεσμα πληρέστερο πολυμερισμό. Το γεγονός ότι η άνω και κάτω επιφάνεια του δοκίμιου της σύνθετης ρητινής βρίσκεται σε επαφή με τις γυάλινες πλάκες, σημαίνει ότι η παρεμπόδιση του πολυμερισμού από τον αέρα είναι πολύ μικρή και, έτσι, ο βαθμός του πολυμερισμού είναι ο μεγαλύτερος δυνατός²⁰.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η μέση τιμή της συστολής φωτοπολυμερισμού των υλικών κάλυψης που μελετήθηκαν στην παρούσα εργασία, κυμάνηκε από 4,79% μέχρι 8,70%.

Η μεγάλη διαφορά που παρουσιάστηκε στη συστολή φωτοπολυμερισμού μεταξύ των υλικών που μελετήθηκαν, είναι πιθανό να οφείλεται σε διαφορές, οι οποίες ενδέχεται να υπάρχουν στη χημική σύσταση του οργανικού μέρους τους, καθώς και στη διαφορετική σύσταση και περιεκτικότητα των ανόργανων συστατικών τους.

Η συστολή πολυμερισμού των σύνθετων ρητινών εξαρτάται από το μοριακό βάρος του μονομερούς, το βαθμό μετατροπής των απλών δεσμών άνθρακα του μονομερούς σε διπλούς και από το ποσοστό του μονομερούς στη σύνθετη ρητινή²¹. Μονομέρες με μεγάλο μοριακό βάρος και υψηλή περιεκτικότητα σε ανόργανα συστατικά έχει ως αποτέλεσμα μικρότερη συστολή, ενώ ο μεγάλος βαθμός μετατροπής των διπλών δεσμών σε απλούς, έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της συστολής. Αν και οι περισσότερες σύγχρονες σύνθετες ρητινές περιέχουν ως κύριο συστατικό το μονο-

μερές Bis-GMA και το διαλύτη TEGDMA, η συστολή των διαφόρων σύνθετων ρητινών είναι διαφορετική, λόγω της διαφοράς τους στο περιεχόμενο των μονομερών και στο ποσοστό των ανόργανων συστατικών τους.

Ο Goldaman, ο οποίος μέτρησε τη συστολή πολυμερισμού διαφόρων σύνθετων ρητινών που χρησιμοποιούνται για εμφράξεις, βρήκε ότι οι φωτοπολυμεριζόμενες σύνθετες ρητίνες παρουσίασαν συστολή πολυμερισμού που κυμάνθηκε μεταξύ 1,67-2,58% κατ' όγκο¹⁸. Οι Rees και Jacobsen βρήκαν τιμές συστολής πολυμερισμού των σύνθετων ρητινών για εμφράξεις που μελέτησαν μεταξύ 1,21-2,04% κατ' όγκο¹⁹.

Τα πλαίσια στα οποία, κυμάνθηκε η συστολή πολυμερισμού των υλικών της παρούσας εργασίας, είναι ανώτερα από τα πλαίσια στα οποία κυμάνθηκε η συστολή πολυμερισμού των σύνθετων ρητινών που βρέθηκε από τους παραπάνω ερευνητές. Αυτό πιθανόν να οφείλεται στο γεγονός ότι τα υλικά κάλυψης οπών και σχισμών περιέχουν ανόργανα συστατικά σε μικρότερο ποσοστό απ' ό,τι οι σύνθετες ρητίνες που χρησιμοποιούνται για εμφράξεις²⁷. Επίσης, είναι πιθανό να οφείλεται στον καλύτερο πολυμερισμό που, όπως φαίνεται, επιτυγχάνεται με τη μέθοδο που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία, σε σύγκριση με τη μέθοδο του διαστολομέτρου, η οποία χρησιμοποιήθηκε στις εργασίες που προαναφέρθηκαν, με αποτέλεσμα μεγαλύτερη συστολή.

Οι Labella και συν.²² μέτρησαν τη συστολή πολυμερισμού συνθέτων ρητινών, μικρού ιξώδους (flowable), και βρήκαν ότι οι τιμές της συστολής κυμαίνονταν από 3,65 μέχρι 6%, ποσοστά πολύ υψηλότερα από τις άλλες σύνθετες ρητίνες. Σε ανάλογα συμπεράσματα κατέληξε και η μελέτη των Σταυριδάκη και συν.²³, οι οποίοι βρήκαν ότι οι σύνθετες ρητίνες, μικρού ιξώδους, παρουσιάζουν μεγαλύτερη συστολή πολυμερισμού από τις άλλες σύνθετες ρητίνες.

Τα πλαίσια στα οποία κυμάνθηκε η συστολή πολυμερισμού των υλικών ΚΟΣ της παρούσας εργασίας, σχεδόν συμπίπτουν με τα πλαίσια στα οποία κυμάνθηκε η συστολή πολυμερισμού των συνθέτων ρητινών, χαμηλού ιξώδους, που βρέθηκε από τους παραπάνω ερευνητές. Αυτό πιθανόν να οφείλεται στο γεγονός ότι τα υλικά ΚΟΣ περιέχουν ανόργανα συστατικά σε ποσοστό ανάλογο με αυτό που περιέχουν οι σύνθετες ρητίνες, χαμηλού ιξώδους.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι στο διάστημα των 60 min που ακολούθησε το φωτοπολυμερισμό των υλικών παρατηρήθηκε αύξηση της συστολής σε όλα τα υλικά. Αυτό, όπως φαίνεται, οφείλεται στο ότι ο πολυμερισμός των υλικών συνεχίστηκε και μετά το τέλος της επίδρασης της φωτεινής δέσμης. Αυτό έχουν δείξει και τα αποτελέσματα άλλων εργασιών, σύμφωνα με τις οποίες, ο πολυμερισμός των φωτοπολυμεριζόμενων σύνθετων ρητινών συνεχίζεται για αρκετό χρονικό διάστημα μετά τον αρχικό πολυμερισμό^{24,25,26}.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι, όταν τα υλικά φωτο-

πολυμερίστηκαν για χρονικό διάστημα το μισό από συνιστώμενο από τον κατασκευαστή, η συστολή πολυμερισμού ήταν μικρότερη σε όλες τις περιπτώσεις, αν και η ελάττωσή της δεν ήταν στατιστικά σημαντική.

Το γεγονός αυτό είναι πιθανό να οφείλεται στο ότι ο μικρότερος χρόνος πολυμερισμού είχε ως αποτέλεσμα τη μικρότερη απορρόφηση ενέργειας από τα υλικά, με συνέπεια μικρότερο βαθμό μετατροπής των απλών δεσμών άνθρακα του μονομερούς σε διπλούς.

Ο βαθμός μετατροπής των απλών δεσμών άνθρακα σε διπλούς έχει αποδειχθεί ότι επηρεάζει σημαντικά τις ιδιότητες των συνθέτων ρητινών²⁷⁻³⁰. Υπάρχει μια γραμμική σχέση μεταξύ του βαθμού του πολυμερισμού των συνθέτων ρητινών και του λογαρίθμου της συνολικής έκθεσης στην ενέργεια φωτοπολυμερισμού, η οποία είναι το γινόμενο της πυκνότητας του φωτός και του χρόνου ακτινοβολήσης^{28,31,32,33}.

Από τη μελέτη των καμπυλών που προέκυψαν κατά τη συστολή πολυμερισμού των υλικών ΚΟΣ βρέθηκε, ως κοινό χαρακτηριστικό τους, ότι με την έναρξη του φωτοπολυμερισμού παρουσιάστηκε ταχεία συστολή, η οποία είχε σχεδόν γραμμική εξέλιξη σε συνάρτηση με το χρόνο και η διάρκειά της ήταν περίπου ίση με το χρόνο πολυμερισμού. Στη συνέχεια, η ταχύτητα της συστολής ελαττώθηκε σημαντικά μέχρι το τέλος του 1 min, ενώ στα 59 min που ακολούθησαν παρατηρήθηκε μικρή συστολή. Το εύρημα αυτό συμφωνεί με ανάλογα ευρήματα άλλων ερευνητών για σύνθετες ρητίνες^{20,26,34}.

Για τις φωτοπολυμεριζόμενες σύνθετες ρητίνες έχει βρεθεί ότι, κατά κανόνα, η πορεία της συστολής σε συνάρτηση με το χρόνο μπορεί να παρασταθεί γραφικά από μια εκθετικά αναπτυσσόμενη καμπύλη που έχει την ονομασία Kohlrausch-Williams-Watts^{25,35}. Από τη μορφή της καμπύλης αυτής, μπορούν να ληφθούν πληροφορίες για τη χημική σύσταση της ρητίνης, δηλαδή για τον τύπο του μονομερούς, καθώς και για την περιεκτικότητα του φωτοενεργοποιητή²⁰.

Συμπεράσματα

1. Η μέθοδος μέτρησης της συστολής πολυμερισμού που χρησιμοποιήθηκε έχει το πλεονέκτημα να δίνει, με επαναλήψιμες μετρήσεις, τη συστολή πολυμερισμού σε συνάρτηση με το χρόνο.
2. Τα υλικά κάλυψης οπών και σχισμών που μελετήθηκαν, παρουσίασαν σημαντικές διαφορές στις τιμές συστολής πολυμερισμού.
3. Η συστολή των υλικών κάλυψης οπών και σχισμών συνεχίστηκε και μετά το τέλος του φωτοπολυμερισμού.
4. Η ελάττωση του χρόνου φωτοπολυμερισμού είχε ως αποτέλεσμα την ελάττωση της συστολής πολυμερισμού.

Βιβλιογραφία

1. Buonocore MG, Matsui A, Gwinnett AJ. Penetration of resin dental into enamel surfaces with reference to bonding. *Arch Oral Biol*, 1968; 13:70.
2. Weintraub JA. Pit and fissure sealants in high-caries-risk individuals. *J Dent Educ* 2001; 65:1084-90.
3. Donly KJ. Sealants: Where we have been, where we are going. *Gen Dent* 2002; 50:438-40.
4. Simonsen RJ. Pit and fissure sealant: Review of the literature. *Pediat Dent*. 2002; 24:393-414.
5. Tay FR, Frankenberger R, Carvalho RM, Pashley DH. Pit and fissure sealing. Bonding of bulk-cured, low-filled, light-curing resins to bacteria-contaminated uncut enamel in high c-factor cavities. *Am J Dent* 2005; 18:28-36.
6. Καββαδία Κ, Ηλιάδης Γ. Σύγχρονες απόψεις για την τεχνική εφαρμογής των υλικών κάλυψης οπών και σχισμών. *Οδοντ. Πρόοδος*. 1997; 51:148-61.
7. Hansen EK. Visible light-cured composite resin: polymerization contraction, contraction pattern and hygroscopic expansion. *Scand J Dent Res* 1982; 90: 329-35.
8. Hay JN, Shortall AC. Polymerization contraction and reaction kinetics of three chemically activated restorative resins. *J Dent* 1988; 16:172-6.
9. Bandyopadhyay S. A study of the volumetric setting shrinkage of some dental materials. *J Biomed Mater Res* 1982; 16:135-44.
10. Davidson CL, de Gee AJ. Relaxation of polymerization contraction stresses by flow in dental composites. *J Dent Res* 1984; 63:146-8.
11. Hansen EK, Asmussen E. Marginal adaptation of posterior resins: effect of dentin-bonding agent and hygroscopic expansion. *Dent Mater* 1989; 5:122-6.
12. Koike T, Hasegawa T, Manabe A, Itoh K, Wakumoto S. Effect of water absorption and thermal stress on cavity adaptation of dental composites. *Dent Mater* 1990; 6:178-80.
13. Feilzer AJ, de Gee AJ, Davidson CL. Setting stress in composite resin in relation to configuration of restoration. *J Dent Res* 1987; 66:1636-9.
14. Davidson CL, Feilzer AJ. Polymerization shrinkage and polymerization shrinkage stress in polymer-based restoratives. *J Dent* 1997; 25:435-40.
15. Watts DC, Cash AJ. Kinetic measurement of photopolymerization contraction in resins and composites. *Meas Sci Technol* 1991; 2:788-94.
16. Wilson HJ. Properties of radiation-cured restorative resins. *Proc Int Symp Fotofil Dental Restorative* (London: Franklin Scientific Projects) 1987:11-6.
17. Walls AWG, McCabe JF, Murray JJ. The polymerization contraction of visible-light activated composite resin. *J Dent* 1988; 16:177-81.
18. Goldman M. Polymerization shrinkage of resin-bonded re-storative materials. *Aust Dent J* 1983; 28:156-61.
19. Ress JS, Jacobsen PH. The polymerization shrinkage of composites resins. *Dent Mater* 1989; 5:41-4.
20. Wendt SL, Leinfelder KF. The clinical evaluation of heart-treated composite resin inlays. *J Am Dent Assoc* 1990; 120:177-80.
21. McCabe JF. *Applied Dental Materials*. 7th ed, Blackwell Scientific Publications, London. 1990:150-2.
22. Labella R, Lambrechts P, Van Meerbeek B, Vanherle G. Polymerization shrinkage and elasticity of flowable composites and filled adhesives. *Dent Mater* 15, 128-137, 1999.
23. Σταυριδάκης Μ, Κακαμπούρα Α, Krejci I. Μελέτη της γραμμικής συστολής πολυμερισμού και των δυνάμεων συστολής πολυμερισμού ρητινώδων εμφρακτικών υλικών. *Οδοντ. Πρόοδος*, 54: 213-225, 2000.
24. Watts DC, Amer OM, Combe EC. Surface hardness development in light cured composites. *Dent Mater* 1987; 3:256-69.
25. Pilo R, Cardash HS. Post-irradiation polymerisation of different anterior and posterior visible light-activated resin composites. *Dent Mater* 1992; 8:299-304.
26. Chye CH, Yap AUJ, Laim YC, Soh MS. Post-gel polymerization shrinkage associated with different light curing regimens. *Oper Dent* 30, 474-480, 2005.
27. Peutzfeldt A, Asmussen E. The effect of postcuring on quantity of remaining double bonds, mechanical properties, and in vitro wear of two resin composites. *J Dent* 2000, 28:447-52.
28. Halvorson RH, Erickson RL, Davidson CL. A energy conversion relationship predictive of conversion profiles and depth of cure for resin-based composite. *Oper Dent* 2003; 28:307-14.
29. Eliades GG, Vougiouklakis GJ, Caputo AA. Degree of double bond conversion in light-cured composites. *Dent Mater* 1987; 3:19-25.
30. Silikas N, Eliades G, Watts DC. Light intensity effects on resin-composite degree of conversion and shrinkage strain. *Dent Mater* 2000; 16:292-6.
31. Cook WD. Factors affecting the depth of cure of UV-polymerized composites. *J Dent Res* 1980; 59:800-8.
32. Cook WD. Curing efficiency and ocular hazards of dental photopolymerization sources. *Biomaterials* 7:447-54.
33. Nomoto R, Uchida K, Hirasawa T. Effect of light intensity on polymerization of light cured composite resins. *Dent Mater J*, 1994; 13:198-204.
34. Shlesinger MF. Williams-Watts dielectric relaxation: a fractal time stochastic process. *J Stat Phys* 1984; 36:639-48.
35. Williams G, Watts DC. Non-symmetrical dielectric relaxation behavior arising from a simple empirical decay function. *Trans Farad Soc* 1970; 60:80-85.