

Η κλινική αντιμετώπιση της οριακής μικροδιείσδυσης των εμφράξεων σύνθετης ρητίνης

Δ. ΔΙΟΝΥΣΟΠΟΥΛΟΣ¹, Π. ΔΙΟΝΥΣΟΠΟΥΛΟΣ²

Εργαστήριο Οδοντικής Χειρουργικής, Τμήμα Οδοντιατρικής ΑΠΘ

Reducing marginal leakage of composite resin restorations

D. DIONISOPOULOS¹, P. DIONISOPOULOS¹

Dep. of Operative Dentistry, Dental School of Thessaloniki, Aristotle University of Thessaloniki

Περίληψη

Η οριακή μικροδιείσδυση εξακολουθεί να παραμένει ένα μεγάλο πρόβλημα για τις εμφράξεις σύνθετης ρητίνης. Αποτέλεσμα της μικροδιείσδυσης είναι η υπερευαίσθησία του δοντιού, η πολφική βλάβη, ο αποχρωματισμός των οδοντικών ιστών και ο επανατερηδονισμός των ορίων της κοιλότητας. Η μικροδιείσδυση οφείλεται, κυρίως, στη συστολή πολυμερισμού της σύνθετης ρητίνης και την ανεπαρκή συγκόλλησή της στα τοιχώματα της κοιλότητας. Ένας άλλος παράγοντας που, επίσης, παίζει σημαντικό ρόλο είναι η διαφορά του συντελεστή θερμικής διαστολής μεταξύ σύνθετης ρητίνης και οδοντικού ιστού.

Για την αντιμετώπιση της μικροδιείσδυσης, κατά την κλινική διαδικασία της έμφραξης, έχουν προταθεί διάφορες τεχνικές. Οι τεχνικές αυτές περιορίζουν τις συνέπειες της συστολής πολυμερισμού και αυξάνουν την αντοχή του δεσμού της σύνθετης ρητίνης στα τοιχώματα της κοιλότητας.

Στις τεχνικές αντιμετώπισης της μικροδιείσδυσης περιλαμβάνονται η αδροποίηση της αδαμαντίνης με φωσφορικό οξύ 37%, η χρησιμοποίηση συγκολλητικών παραγόντων της οδοντίνης και η εφαρμογή κατάλληλων επιχρισμάτων και ουδέτερων στρωμάτων.

Επίσης, έχουν προταθεί τροποποιήσεις στην παρασκευή των κοιλοτήτων, καθώς επίσης και τροποποιήσεις στις τεχνικές της τοποθέτησης και πολυμερισμού της σύνθετης ρητίνης.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Οριακή μικροδιείσδυση, Σύνθετη ρητίνη.

Summary

Marginal leakage seems to be an inherent shortcoming of composite resin restorations. Leaky margins may result in postoperative sensitivity, invasion by bacteria and subsequent inflammatory changes in the pulp, and the development of secondary caries.

The polymerization shrinkage of the material, the difference in thermal expansion between composite resin and the tooth structure and the inadequate adhesion to the cavity walls are the primary causes of marginal leakage of composite resins.

A number of techniques or materials have been advocated to improve the clinical adaptation of composite resin and to reduce marginal leakage. They limit the effect of polymerization shrinkage and/or enhance the bonding of the composite resin to the tooth structure. They are the use of the acid-etch technique and dentin bonding agents, the use of cavity liners and bases, changes in the design of the cavity preparations and the use of incremental placement technique.

KEY WORDS: Marginal leakage, Composite resin.

Στάλθηκε στις 5.11.2004. Εγκρίθηκε στις 25.1.2005.

¹ Οδοντίατρος

² Αναπληρωτής Καθηγητής

Received on 5th Nov., 2004. Accepted on 25th Jan., 2005.

¹ Dentist

² Assoc. Professor

Εισαγωγή

Η καλή πρόσφυση των εμφρακτικών υλικών στους οδοντικούς ιστούς αποτελεί ένα κρίσιμο σημείο στην οδοντιατρική. Όλα τα κενά του περιεμφρακτικού χώρου, ακόμα και αυτά που δε φαίνονται εύκολα στο μικροσκόπιο επιτρέπουν τη μικροδιείσδυση. Οριακή μικροδιείσδυση είναι η είσοδος στοματικών υγρών, μικροβίων, προϊόντων μεταβολισμού και άλλων συστατικών μέσα στο σχισμοειδή περιεμφρακτικό χώρο. Η οριακή μικροδιείσδυση ενοχοποιείται για πολλά προβλήματα, όπως η υπερευαισθησία του δοντιού που εμφράχθηκε, η πολφική βλάβη, ο αποχρωματισμός των οδοντικών ιστών και ο επανατερηδονισμός των ορίων της κοιλότητας.

Η οριακή μικροδιείσδυση εξακολουθεί να παραμένει το μεγαλύτερο πρόβλημα για τις εμφράξεις σύνθετης ρητίνης. Το πρόβλημα αυτό γίνεται οξύτερο όταν το όριο της έμφραξης βρίσκεται σε λεπτή αδαμαντίνη, όπως συμβαίνει στις αυχενικές περιοχές ή όταν βρίσκεται στην οστεΐνη¹. Η οριακή μικροδιείσδυση οφείλεται κυρίως στη συστολή πολυμερισμού της σύνθετης ρητίνης^{2,3,4}, καθώς επίσης και στις αλλαγές της θερμοκρασίας που συμβαίνουν στο στόμα^{2,4}.

Η γραμμική συστολή πολυμερισμού των σύνθετων ρητινών κυμαίνεται από 0,2% μέχρι 2%^{5,6}, ενώ η συστολή κατά όγκο κυμαίνεται από 1,7% μέχρι 5,7%^{7,8}. Οι δυνάμεις συστολής που αναπτύσσονται κατά τον πολυμερισμό των σύνθετων ρητινών κυμαίνονται από 2,8 μέχρι 3,9 MPa⁹ και έχουν ως αποτέλεσμα την αποκόλληση της σύνθετης ρητίνης από τα τοιχώματα της κοιλότητας, με επακόλουθο τον σχηματισμό περιεμφρακτικού χώρου.

Όσον αφορά τις αλλαγές της θερμοκρασίας που συμβαίνουν στο στόμα, το πρόβλημα βρίσκεται στο ότι ο γραμμικός συντελεστής θερμικής διαστολής των συνθέτων ρητινών είναι πολύ μεγαλύτερος από αυτόν των σκληρών οδοντικών ιστών. Συγκεκριμένα, ενώ ο γραμμικός συντελεστής θερμικής διαστολής των συνθέτων ρητινών κυμαίνεται από 28 μέχρι 45 ppm/C^ο, ο γραμμικός συντελεστής της θερμικής διαστολής των σκληρών οδοντικών ιστών είναι 9-11 ppm/C^ο¹⁰.

Ο σκοπός της εργασίας αυτής είναι η παρουσίαση των σύγχρονων απόψεων που έχουν σχέση με την κλινική αντιμετώπιση της μικροδιείσδυσης των εμφράξεων σύνθετης ρητίνης.

Τεχνικές αντιμετώπισης της οριακής μικροδιείσδυσης

Η αντιμετώπιση της οριακής μικροδιείσδυσης των εμφράξεων σύνθετης ρητίνης έχει απασχολήσει πολύ τους ερευνητές ιδιαίτερα κατά τα τελευταία χρόνια. Αποτέλεσμα των ερευνών αυτών ήταν η παρουσίαση μιας σειράς από τεχνικές και υλικά, οι οποίες υποστηρίχθηκε ότι συμβάλλουν σημαντικά στον περιορισμό της

οριακής μικροδιείσδυσης των εμφράξεων. Κατά την κλινική διαδικασία της πραγματοποίησης των εμφράξεων σύνθετης ρητίνης, για την αντιμετώπιση της οριακής μικροδιείσδυσης εφαρμόζεται η αδροποίηση με φωσφορικό οξύ της αδαμαντίνης και της οδοντίνης των τοιχωμάτων της κοιλότητας και χρησιμοποιούνται κατάλληλοι συγκολλητικοί παράγοντες και ουδέτερα στρώματα. Επίσης, έχουν προταθεί τροποποιήσεις στην παρασκευή των κοιλοτήτων, καθώς και τροποποιήσεις στην τεχνική της τοποθέτησης και πολυμερισμού της σύνθετης ρητίνης.

1. Η αδροποίηση της αδαμαντίνης

Η τεχνική της αδροποίησης της αδαμαντίνης με φωσφορικό οξύ 37% είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος για τη βελτίωση του δεσμού μεταξύ σύνθετης ρητίνης και αδαμαντίνης, που έχει ως αποτέλεσμα ελάττωση της μικροδιείσδυσης^{11,12}.

Στις περιπτώσεις, όμως, που η κοιλότητα επεκτείνεται πέρα από τα όρια αδαμαντίνης-οστεΐνης, όπως σε εκτεταμένες αυχενικά όμορες κοιλότητες και σε αυχενικές κοιλότητες με μεγάλη επέκταση προς τα ούλα, η τεχνική αυτή είναι ανεπαρκής για την καλή στεγανοποίηση της έμφραξης^{13,14}.

Η χρήση του αδροποιητικού διαλύματος στην αδαμαντίνη έχει ως αποτέλεσμα την εκλεκτική διάλυση μέρους των πρισμάτων της αδαμαντίνης, που στο μικροσκόπιο έχει τη μορφή κηρήθρας, με αποτέλεσμα την τεράστια αύξηση της επιφάνειας της αδαμαντίνης που έρχεται σε επαφή με τη ρητίνη, και ως εκ τούτου την πολύ μεγάλη αύξηση της συγκράτησης. Η αύξηση αυτής της συγκράτησης είναι αποτέλεσμα του σχηματισμού πολύ μεγάλου αριθμού προσεκβολών της ρητίνης μέσα στους πόρους της αδροποιημένης αδαμαντίνης¹⁵.

Ερευνητικές εργασίες έχουν δείξει ότι ο δεσμός στην αδαμαντίνη επηρεάζεται από την περιεκτικότητα του οξέος^{16,17}, το χρόνο αδροποίησης¹⁸, το χρόνο πλυσίματος και την τεχνική¹⁹.

2. Η χρησιμοποίηση συγκολλητικών παραγόντων της οδοντίνης

Η ισχυρή και μακράς διάρκειας συγκόλληση της σύνθετης ρητίνης στους οδοντικούς ιστούς θα μπορούσε να αντισταθεί στις δυνάμεις συστολής, κατά τον πολυμερισμό της σύνθετης ρητίνης, και να διατηρήσει καλή πρόσφυση στα όρια της κοιλότητας.

Η επίτευξη, όμως, μιας ικανοποιητικής και μακράς διάρκειας πρόσφυσης στην οδοντίνη αποδείχθηκε ότι είναι πολύ πιο δύσκολη από ότι στην αδαμαντίνη. Η σύνδεση του εμφρακτικού υλικού με την οδοντίνη γίνεται με τη μεσολάβηση των συγκολλητικών παραγόντων. Ο μηχανισμός με τον οποίο οι σύγχρονοι συγκολλητικοί παράγοντες επιτυγχάνουν αυτόν τον δεσμό είναι παρόμοιος με αυτόν της αδαμαντίνης, δηλαδή

μικρομηχανική σύνδεση των πολυμερών ρητινών στην επιφάνεια της οδοντίνης. Όμως, λόγω των διαφορών της δομής της οδοντίνης σε σύγκριση με την αδαμαντίνη, τα μορφολογικά χαρακτηριστικά με τα οποία επιτυγχάνεται αυτή η σύνδεση, διαφέρουν σημαντικά.

Οι σύγχρονοι συγκολλητικοί παράγοντες αποτελούνται από ένα όξινο συστατικό (συνήθως φωσφορικό οξύ) για την απασβεσίωση της επιφάνειας της οδοντίνης και την έκθεση των κολλαγόνων ινών. Επίσης, από έναν ενεργοποιητή (primer) που περιέχει υδρόφιλα μεθακρυλλικά μονομερή, που διεισδύουν μέσα στην απασβεστωμένη ζώνη και τέλος, ένα μονομερές μιας υγρής συγκολλητικής ρητίνης, που ολοκληρώνει τη συγκόλληση με το υδρόφοβο συστατικό του primer μέσα στην απασβεστωμένη ζώνη. Η περιοχή αυτή που συνιστά την μερικώς απασβεστωμένη οδοντίνη, το κολλαγόνο και την πολυμερισμένη ρητίνη ονομάζεται «υβριδική ζώνη»²⁰.

Η πλέον σύγχρονη εξέλιξη των συγκολλητικών παραγόντων είναι αυτοί που περιέχουν αδροποιητικούς ενεργοποιητές (self-etching primers): κύριο χαρακτηριστικό τους είναι ότι η διαδικασία της απασβεσίωσης και της ενεργοποίησης γίνεται σε ένα κλινικό στάδιο. Χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: ενός σταδίου και δύο σταδίων²¹. Στα σκευάσματα ενός σταδίου ο αδροποιητικός παράγοντας, ο ενεργοποιητής και τα ρητινώδη μονομερή αναμιγνύονται λίγο πριν την τοποθέτησή τους στην οδοντίνη. Ο συγκολλητικός παράγοντας είτε παραμένει άθικτος στους οδοντικούς ιστούς για ορισμένο χρονικό διάστημα είτε εφαρμόζεται με ειδικούς εντριπτήρες και πλαστικά βουρτσάκια με κινήσεις εντριβής. Στα σκευάσματα δύο σταδίων, ο αδροποιητικός ενεργοποιητής φέρεται σε χωριστή συσκευασία από την υγρή ρητίνη, στη δε υγρή ρητίνη προστίθενται και υδρόφιλα μεθακρυλλικά μονομερή, ώστε το μίγμα να είναι συμβατό με την τροποποιημένη οδοντική επιφάνεια²¹.

Για την απασβεσίωση των οδοντικών ιστών χρησιμοποιούνται όξινα μονομερή με βάση μονοόξινες φωσφορικές ομάδες όπως π.χ. στο Clear SE Bond και στο Prompt L-Pop, ή μονομερή με καρβοξυλικές ομάδες, όπως π.χ. στο Unifil Bond και στο Fluorobond²². Οι αδροποιητικοί ενεργοποιητές ανάλογα με το pH τους χωρίζονται σε ισχυρούς, όταν το pH είναι μικρότερο από 1 και σε ήπιους όταν το pH είναι μεγαλύτερο από 2. Ο μηχανισμός συγκόλλησης των συγκολλητικών παραγόντων της κατηγορίας αυτής είναι ο σχηματισμός υβριδικής ζώνης πάχους από 0,1-1μm για την ήπια και 2-3μm για τα ισχυρά σκευάσματα²³.

Τα πλεονεκτήματα της χρήσης των αδροποιητικών ενεργοποιητών είναι ότι δε χρειάζεται ειδικό στάδιο αδροποίησης, δεν υπάρχει το πρόβλημα της κατακρήμνυσης του δικτύου του κολλαγόνου, κατά την απομάκρυνση του οξέος με νερό, και το στέγνωμα με αέρα, και ότι υπάρχει εξίσωση του βάθους απασβεσίωσης με

το βάθος διείσδυσης της ρητίνης, με αποτέλεσμα την απουσία κενών χώρων στο όριο του διηθημένου με ρητίνη οδοντικού ιστού από την υποκείμενη υγιή οδοντίνη. Αυτό έχει ως συνέπεια τη μείωση της συχνότητας των μετεμφρακτικών ευαισθησιών²³.

Τα μειονεκτήματα των αδροποιητικών ενεργοποιητών είναι ότι εμφανίζεται μικρότερη αντοχή στον εφελκυσμό μεταξύ οδοντίνης συγκολλητικών παραγόντων και συνθέτων ρητινών, σε σύγκριση με τα σκευάσματα τριών ξεχωριστών σταδίων εφαρμογής²⁴ και ότι παρουσιάζουν περιορισμένη δραστηριότητα στην αδαμαντίνη²³. Για τους λόγους αυτούς, η χρήση τους πρέπει να γίνεται με αξιολόγηση και επιλογή των περιπτώσεων και με κάποια επιφύλαξη.

Ο σχηματισμός της υβριδικής ζώνης οφείλεται στη διείσδυση υδρόφιλων μεθακρυλικών μονομερών στο δίκτυο του απασβεστωμένου κολλαγόνου που σχηματίζεται στην επιφάνεια της οδοντίνης μετά τη δράση του αδροποιητή²⁵. Η ζώνη αυτή είναι μια μεταβατική ζώνη με μικρότερη ελαστικότητα και έχει φυσικές ιδιότητες, ενδιάμεσες μεταξύ οδοντίνης και σύνθετης ρητίνης²⁰.

Οι ιδιότητες αυτές επιτρέπουν την υβριδική ζώνη να δρα ως απορροφητής τάσεων με την αύξηση της ικανότητας παραμόρφωσης στις δυνάμεις της συστολής πολυμερισμού, της θερμικής συστολής και διαστολής και τέλος της διαστολής της έμφραξης κατά την προσρόφηση νερού²⁶.

Μολονότι τα αποτελέσματα των εργαστηριακών ερευνών για την αποτελεσματικότητα των σύγχρονων συγκολλητικών παραγόντων παρουσίασαν τιμές συγκολλητικής αντοχής στην οδοντίνη σε ικανοποιητικά επίπεδα, μελέτες μικροδιείσδυσης των υλικών αυτών οδήγησαν σε προβληματισμό για την αποτελεσματικότητά τους.

Η διάρκεια που μπορεί να έχει η σύνδεση ενός εμφρακτικού υλικού με οργανικό υπόστρωμα, όπως το κολλαγόνο, έχει δημιουργήσει ένα ερωτηματικό. Έχει βρεθεί ότι η μηχανική καταπόνηση και κόπωση σε συνδυασμό με τις θερμικές και βιοχημικές επιδράσεις του στοματικού περιβάλλοντος δημιουργούν προϋποθέσεις για απώλεια της συνοχής της υβριδικής ζώνης, με αποτέλεσμα το σχηματισμό μικροσκοπικών κενών μέσα από τα οποία διεισδύουν ουσίες από το στοματικό περιβάλλον²⁷. Το φαινόμενο αυτό καλείται νανοδιείσδυση και έχει μελετηθεί σε μεγάλη έκταση^{28,29}.

Για την αντιμετώπιση του προβλήματος της απώλειας της συνοχής της υβριδικής ζώνης προτάθηκε η επεξεργασία της ζώνης του απασβεστωμένου κολλαγόνου με διαλύματα υποχλωριώδους νατρίου (NaOCl) σε διάφορες συγκεντρώσεις, το οποίο τροποποιεί την επιφάνεια της οδοντίνης δημιουργώντας μεγάλο ποσοστό ενασβεστοποιημένου κολλαγόνου ή και απομακρύνοντας, πλήρως, το κολλαγόνο³⁰.

Οι επιφάνειες αυτές εμφανίζουν αυξημένο μικρο-

πορώδες για ισχυρή μικρομηχανική συγκράτηση των ρητινωδών σκευασμάτων^{31,32}. Προς το παρόν δεν υπάρχει κλινική τεκμηρίωση της εφαρμογής της τεχνικής αυτής.

Κατά την εφαρμογή των σύγχρονων συγκολλητικών παραγόντων απαιτείται μεγάλη προσοχή στην τεχνική εφαρμογής. Η διατήρηση της σωστής επιφανειακής υγρασίας μετά τη διαδικασία αδροποίησης και ξεπλύματος είναι ένα σημείο, που θέλει ιδιαίτερη προσοχή. Η υπερβολική υγρασία εμποδίζει τη στενή επαφή της υγρής ρητίνης στην οδοντίνη³³ και εμποδίζει τον πολυμερισμό της³⁴, αντίθετα η υπερβολική ξήρανση της οδοντίνης είναι δυνατό να προκαλέσει ελάττωση της αντοχής συγκόλλησης της υγρής ρητίνης, λόγω κατακρήμνισης του δικτύου του κολλαγόνου³⁵.

3. Επιχρίσματα και ουδέτερα στρώματα

Ένας παράγοντας που επηρεάζει σημαντικά την οριακή πρόσφυση μιας έμφραξης σύνθετης ρητίνης είναι ο συντελεστής ελαστικότητας του εμφρακτικού υλικού. Σύνθετες ρητίνες με μεγάλη φόρτιση σε filler, και κατά συνέπεια με μεγάλο συντελεστή ελαστικότητας³⁶, αναπτύσσουν ισχυρότερες τάσεις συστολής πολυμερισμού^{37,38}. Έχει βρεθεί μια ανάλογη σχέση μεταξύ του συντελεστή ελαστικότητας της σύνθετης ρητίνης και του μεγέθους του σχηματιζόμενου περιεμφρακτικού χώρου^{39,40}.

Για την επίτευξη αυξημένης ικανότητας κάμψης της έμφραξης χρησιμοποιήθηκαν οι φωτοπολυμεριζόμενες υαλοϊονομερείς κονίες, τα συγκολλητικά συστήματα και οι σύνθετες ρητίνες χαμηλού ιξώδους.

Σε μια μελέτη με εμφράξεις σύνθετης ρητίνης 5ης ομάδας βρέθηκε ότι το αυξημένο πάχος του συγκολλητικού παράγοντα ελάττωσε σημαντικά την τάση αποκόλλησης που αναπτύσσεται κατά τη συστολή πολυμερισμού⁴¹, ενώ σε μια άλλη μελέτη βρέθηκε ότι το αυξημένο πάχος συγκολλητικών παραγόντων 5ης γενεάς αύξησε σημαντικά την αντοχή του δεσμού σύνθετης ρητίνης οδοντίνης⁴². Οι Kemp-Scholte και Davidson^{39,40} βρήκαν ότι ένα ενδιάμεσο στρώμα ρητίνης χωρίς ενισχυτικές ουσίες ή ένα ουδέτερο στρώμα φωτοπολυμεριζόμενης υαλοϊονομερούς κονίας, ελάττωσε τη μικροδιείσδυση και την τάση αποκόλλησης που αναπτύσσεται κατά τη συστολή πολυμερισμού μέχρι 18-50%. Οι συγγραφείς υπογράμμισαν ότι η αυξημένη οριακή εφαρμογή, που οφειλόταν στην αυξημένη ικανότητα κάμψης της έμφραξης, προερχόταν από το ενδιάμεσο στρώμα της ρητίνης ή της υαλοϊονομερούς κονίας.

Η αποτελεσματικότητα της θεωρίας της αυξημένης ικανότητας κάμψης της έμφραξης, όσον αφορά τις υαλοϊονομερείς κονίες, δεν είναι ξεκαθαρισμένη. Υπάρχουν αποτελέσματα μελετών όπου οι εμφράξεις διατήρησαν την οριακή τους ακεραιότητα σε μεγαλύτερο ποσοστό και άλλα, όπου η χρήση της υαλοϊονομερούς

κονίας ως υπόστρωμα δεν επηρέασε το τελικό αποτέλεσμα⁴³⁻⁴⁵. Η αντιφατικότητα των αποτελεσμάτων είναι πιθανό να οφείλεται στη διαφορετικότητα των παραμέτρων των διαφόρων μελετών, όπως είναι το πάχος του στρώματος της υαλοϊονομερούς κονίας, η αδροποίηση ή μη της κονίας, καθώς επίσης και ο συγκολλητικός παράγοντας. Το πάχος της υαλοϊονομερούς κονίας πρέπει να είναι τουλάχιστον 1mm, ώστε να ανθίσταται στη διάλυση που προκαλεί ο αδροποιητικός παράγοντας.

Η χρησιμοποίηση των υαλοϊονομερών κονιών όχι ως επιχρίσματα, αλλά ως ενδιάμεσα ουδέτερα στρώματα μεταξύ οδοντίνης και σύνθετης ρητίνης είχε προταθεί από τον McLean και συν.⁴⁶, το 1985 με την ονομασία «τεχνική σάντουιτς» και είχε εφαρμογή, κυρίως, σε κοιλότητες V και II ομάδας. Η τεχνική αυτή μπορεί να είναι είτε ανοικτή, όπου η υαλοϊονομερής κονία είναι εκτεθειμένη στο ουλικό άκρο είτε κλειστή, όπου η υαλοϊονομερής κονία καλύπτεται, πλήρως, από σύνθετη ρητίνη. Έχει βρεθεί ότι η χρησιμοποίηση φωτοπολυμεριζόμενων υαλοϊονομερών κονιών ως ουδέτερο στρώμα κάτω από εμφράξεις σύνθετης ρητίνης 5ης ομάδας, ελαττώνει σημαντικά τη μικροδιείσδυση και αυξάνει την οριακή εφαρμογή^{47,48}. Οι συγγραφείς απέδωσαν τη μικρή μικροδιείσδυση και την καλύτερη οριακή εφαρμογή στη βραδεία πήξη και στην αυξημένη ικανότητα κάμψης των υαλοϊονομερών κονιών.

Η χρησιμοποίηση φωτοπολυμεριζόμενων υαλοϊονομερών κονιών στο αυχενικό τοίχωμα κοιλότητων 2ης ομάδας με την ανοικτή τεχνική, ελαττώνει σημαντικά τη μικροδιείσδυση, σε σύγκριση με τη χρησιμοποίηση, μόνο, συγκολλητικών παραγόντων⁴⁹⁻⁵¹. Υπάρχουν, όμως, και νεότερες μελέτες που δεν βρήκαν σημαντική διαφορά στη μικροδιείσδυση μεταξύ τοποθέτησης υαλοϊονομερών κονιών και συγκολλητικών παραγόντων μόνο^{52,53}.

Η ανοικτή τεχνική σήμερα δεν ενδείκνυται, διότι υπάρχει κίνδυνος διάλυσης της κονίας στο όμορο κιβωτίδιο, αφήνοντας ανυποστήρικτη την υπόλοιπη έμφραξη^{54,55}. Στις κοιλότητες V ομάδας η τεχνική «σάντουιτς» χρησιμοποιείται λιγότερο συχνά από ότι στο παρελθόν, κυρίως, λόγω της βελτίωσης των συγκολλητικών παραγόντων των συνθέτων ρητινών.

4. Τροποποιήσεις στην παρασκευή των κοιλότητων

Σε μία προσπάθεια βελτίωσης της οριακής εφαρμογής των εμφράξεων σύνθετης ρητίνης έχουν προταθεί διάφορες τροποποιήσεις στις παραδοσιακές παρασκευές των κοιλότητων.

Οι Luescher & συν.⁵⁶, πρότειναν ένα νέο σχέδιο παρασκευής κοιλότητας δεύτερης ομάδας, το οποίο ονόμασαν συγκολλητική παρασκευή και στο οποίο υπολογίστηκαν τα διανύσματα συστολής της σύνθετης ρητίνης κατά τη διάρκεια του πολυμερισμού. Σε πειρα-

ματικές μελέτες που έγιναν, βρέθηκε ότι η παρασκευή αυτή έχει ως αποτέλεσμα καλύτερη επαφή της σύνθετης ρητίνης στα όρια της εμφράξης και μικρότερη μικροδιδείσδυση^{56,57}. Η παρασκευή, όμως, αυτή έχει και ορισμένους περιορισμούς, ένας από τους οποίους είναι ότι η κοιλότητα δεν πρέπει να επεκτείνεται πέρα από το όριο αδαμαντίνης-οστεΐνης. Η τροποποίηση αυτή δε βρήκε εφαρμογή στα μετέπειτα χρόνια.

Οι συγκρατητικές καρφίδες χρησιμοποιούνται εδώ και πολλά χρόνια για τη βελτίωση της συγκράτησης των εμφράξεων αμαλγάματος και σύνθετης ρητίνης⁵⁸. Έχει βρεθεί ότι η εφαρμογή μιας ή δύο καρφίδων στο αυχενικό τοίχωμα κοιλοτήτων 2ης ομάδας για σύνθετη ρητίνη έχει ως αποτέλεσμα την ελάττωση της μικροδιδείσδυσης στην αυχενική περιοχή της εμφράξης⁵⁹.

Η λοξοτομή της αδαμαντίνης των εξωτερικών ορίων των κοιλοτήτων για εμφράξεις σύνθετης ρητίνης, είναι ο πλέον αποτελεσματικός τρόπος αντιμετώπισης της μικροδιδείσδυσης. Έχει ως αποτέλεσμα το σχηματισμό μεγαλύτερης επιφάνειας συγκόλλησης και τη δημιουργία ευνοϊκότερων προϋποθέσεων για την αδροποίηση των πρισμάτων της αδαμαντίνης. Έχει βρεθεί ότι οι εμφράξεις σε κοιλότητες που έχουν λοξοτομηθεί τα εξωτερικά του όρια, παρουσιάζουν μικρότερη μικροδιδείσδυση και, επιπλέον, μεγαλύτερη συγκράτηση και καλύτερη ενίσχυση του εναπομείναντος οδοντικού ιστού⁶⁰.

Μια σημαντική ελάττωση στην αυχενική μικροδιδείσδυση έχει παρατηρηθεί, επίσης, όταν παρασκευάζεται εσωτερική λοξοτομή της αυχενικής αδαμαντίνης, δηλαδή λοξοτομή με αντίθετη κατεύθυνση από την παραδοσιακή λοξοτομή⁶¹. Αυτό μπορεί να γίνει, όταν η παρασκευή εκτείνεται αυχενικά επί της οδοντίνης, περισσότερο, από ότι στην αδαμαντίνη. Η ελάττωση της μικροδιδείσδυσης τόσο στην παρεϊακή και γλωσσική λοξοτομή όσο και στην αυχενική λοξοτομή, αποδόθηκε από τους συγγραφείς στο αυξημένο εύρος αδροποιημένης αδαμαντίνης, της οποίας ο προσανατολισμός των πρισμάτων παρείχε έναν πιο ευνοϊκό τύπο αδροποίησης.

Μια άλλη σημαντική τροποποίηση για εμφράξεις 2ης ομάδας που βρέθηκε ότι βελτιώνει την οριακή προσαρμολογία, είναι η παρασκευή μιας ή δύο συγκρατητικών αυλάκων στην αξονοπολυφική διεδρη γωνία⁶². Οι συγγραφείς υποστήριξαν ότι οι συγκρατητικές αυλάκες μπορούν να καθυλώνουν τη σύνθετη ρητίνη στη θέση της, κατά τη διάρκεια του πολυμερισμού, ελαττώνοντας έτσι τον κίνδυνο απόσπασής της από το αξονικό τοίχωμα.

Κατά τα τελευταία χρόνια για την παρασκευή των κοιλοτήτων άρχισε να χρησιμοποιείται μία νέα τεχνική που βασίζεται στη χρήση ρεύματος αέρος με εκτριπτικούς κόκκους. Τα πλεονεκτήματα της τεχνικής αυτής είναι ο καλός έλεγχος της παρασκευής και για τον ασθενή λιγότερος πόνος, θόρυβος και δόνηση⁶³. Το μεγάλο ενδιαφέρον για την τεχνική αυτή παρότρυνε

την έρευνα για να διαπιστωθεί, κατά πόσο, η επιφάνεια του δοντιού που έχει παρασκευαστεί κατ' αυτόν τον τρόπο, παρουσιάζει μετά την αδροποίηση καλύτερη συγκόλληση με τη σύνθετη ρητίνη και μικρότερη μικροδιδείσδυση. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι παρασκευές που έγιναν με την τεχνική αυτή δεν εμφάνισαν μικρότερη μικροδιδείσδυση⁶⁴ και, επίσης, δεν παρουσιάστηκε αύξηση της αντοχής του δεσμού μεταξύ της σύνθετης ρητίνης και της οδοντίνης^{55,66} ή της αδαμαντίνης⁶⁵. Όσον αφορά όμως τη βελτίωση του δεσμού στην αδαμαντίνη υπάρχουν και αντίθετες απόψεις^{67,68}.

5. Τεχνικές εμφράξης

Επειδή η συστολή πολυμερισμού των συνθέτων ρητινών ανταγωνίζεται τη συγκολλητική αντοχή των εμφράξεων, έχουν προταθεί διάφορες τεχνικές τοποθέτησης της σύνθετης ρητίνης στην κοιλότητα με σκοπό την ελάττωση της συστολής πολυμερισμού και των συνεπειών της.

Μια τεχνική τοποθέτησης της φωτοπολυμεριζόμενης σύνθετης ρητίνης είναι η κατά στρώματα τοποθέτησή της. Η λογική βάση της τεχνικής αυτής είναι ότι ελαττώνοντας τον όγκο της ρητίνης που πολυμερίζεται, κάθε φορά θα ελαττωθεί και η ολική συστολή. Επίσης, τοποθετώντας και πολυμερίζοντας τη σύνθετη ρητίνη κατά στρώματα επιτυγχάνεται ελάττωση του παράγοντα C έναντι της τοποθέτησης όλης της σύνθετης ρητίνης, με αποτέλεσμα την ελάττωση των τάσεων που αναπτύσσονται κατά τον πολυμερισμό. Ο παράγων C εξαρτάται από το σχήμα της κοιλότητας και εκφράζεται από το λόγο των συγκολλούμενων επιφανειών, οι οποίες δεν έχουν τη δυνατότητα ροής, προς τις μη συγκολλούμενες επιφάνειες, δηλαδή προς αυτές που έχουν τη δυνατότητα ροής. Όσο περισσότερες επιφάνειες έχει μια κοιλότητα τόσο μεγαλύτερο παράγοντα C έχει, με συνέπεια, κατά τη συστολή πολυμερισμού, να αναπτύσσονται μεγαλύτερες τάσεις αποκόλλησης. Έχει βρεθεί ότι η τοποθέτηση της φωτοπολυμεριζόμενης σύνθετης ρητίνης κατά στρώματα σε εγγύς-άπω μασητικές εμφράξεις και η πραγματοποίηση του φωτοπολυμερισμού παρεϊακά και γλωσσικά, έχει ως αποτέλεσμα τη σημαντική ελάττωση της παραμόρφωσης των φυμάτων⁶⁹ και, επίσης, σημαντική ελάττωση του αυχενικού περιεμφρακτικού χώρου⁷⁰.

Όμως, για να επιτευχθούν ικανοποιητικά αποτελέσματα σε εμφράξεις II ομάδας δεν είναι αρκετή η κατά στρώματα τοποθέτηση της σύνθετης ρητίνης με τον συνήθη τρόπο, διότι κατά το φωτοπολυμερισμό η σύνθετη ρητίνη τείνει να απομακρυνθεί από το αυχενικό τοίχωμα των κοιλοτήτων, λόγω του ότι η συστολή πολυμερισμού έχει κατεύθυνση προς τη φωτεινή πηγή, η οποία συνήθως βρίσκεται μασητικά της εμφράξης. Η τάση αυτή συστολής της σύνθετης ρητίνης προς τη φωτεινή πηγή είναι δυνατό να παρασύρει και το ουδέ-

τερο στρώμα που βρίσκεται κάτω από την έμφραξη, με επακόλουθο τη δημιουργία κενού και κάτω από το ουδέτερο στρώμα⁷¹. Ένας πιο αποτελεσματικός τρόπος έμφραξης κατά στρώματα είναι αυτός κατά τον οποίο χρησιμοποιείται διαφανές τεχνητό τοίχωμα και διαφανής σφήνα, η οποία έχει την ιδιότητα να μεταφέρει τη φωτεινή δέσμη στο αυχενικό τοίχωμα της κοιλότητας⁷². Κατά την τεχνική αυτή, το πρώτο στρώμα της σύνθετης ρητίνης τοποθετείται στο αυχενικό τοίχωμα της κοιλότητας και πολυμερίζεται διαμέσου της ειδικής διαφανούς σφήνας από την κατεύθυνση των ούλων. Με τον τρόπο αυτό, το υλικό συστέλλεται προς την κατεύθυνση του αυχενικού τοιχώματος της κοιλότητας. Κατόπιν, τοποθετείται το δεύτερο και το τρίτο στρώμα της σύνθετης ρητίνης και πολυμερίζεται από την παρειακή και γλωσσική πλευρά της έμφραξης. Τέλος, τοποθετείται το μασητικό στρώμα, το οποίο πολυμερίζεται μασητικά. Με την τεχνική αυτή έχουμε ως αποτέλεσμα πολύ καλή εφαρμογή της σύνθετης ρητίνης τόσο στην αυχενική όσο και στις άλλες περιοχές της έμφραξης⁷³. Η αποτελεσματικότητα, όμως, της τεχνικής αυτής αμφισβητήθηκε για τις ομορομασητικές εμφράξεις, όταν το αυχενικό όριο βρίσκεται στην οδοντίνη⁷⁴.

Η χρήση κωνικού άκρου στο ρύγχος της συσκευής πολυμερισμού είναι μία άλλη τεχνική πολυμερισμού για εμφράξεις II ομάδας. Το όμορο κιβωτίδιο εμφράσσεται με σύνθετη ρητίνη μέχρι λίγο κάτω από το σημείο επαφής και το κωνικό άκρο διεισδύει μέσα στη ρητίνη έτσι, ώστε να πιέζει το τεχνητό τοίχωμα προς γειτονικό δόντι⁷⁵. Μετά τον πολυμερισμό το κενό που αφήνει το κωνικό άκρο συμπληρώνεται με ρητίνη. Με την τεχνική αυτή επιτυγχάνεται καλό σημείο επαφής και ελαττώνεται το πάχος της ρητίνης που πολυμερίζεται. Έχει βρεθεί, ότι με την τεχνική αυτή επιτυγχάνονται εμφράξεις με λιγότερα οριακά κενά από ότι με την κατά στρώματα τεχνική⁷⁶ και, επίσης, μεγαλύτερη σκληρότητα και λιγότερο πορώδες⁷⁷.

Μια άλλη τεχνική που έχει προταθεί για την ελάττωση του όγκου της σύνθετης ρητίνης και, κατά συνέπεια, της συστολής πολυμερισμού είναι η χρησιμοποίηση κεραμικών προσθηκών ή προπολυμερισμένων σφαιριδίων σύνθετης ρητίνης. Η αποτελεσματικότητα της τεχνικής αυτής ως προς την ελάττωση της κάμψης των φυμάτων⁶⁹, καθώς και της μικροδιείσδυσης αμφισβητήθηκε⁷⁸. βρέθηκε, όμως, ότι η χρησιμοποίηση της τεχνικής αυτής ελάττωσε σημαντικά τη μικροδιείσδυση στα οδοντινοσωληνάκια σε εμφράξεις 5ης ομάδας⁷⁹.

Μια τεχνική που έχει προταθεί για τη βελτίωση της οριακής εφαρμογής της σύνθετης ρητίνης στο αυχενικό τοίχωμα είναι αυτή της κατευθυνόμενης συστολής. Κατά την τεχνική αυτή στις ομορομασητικές κοιλότητες εμφράσσεται πρώτα το όμορο κιβωτίδιο με χημικά πολυμεριζόμενη σύνθετη ρητίνη. Επειδή η αντίδραση πολυμερισμού επιταχύνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας, έχει υποστηριχθεί ότι, θεωρητικά, η σκληρυν-

ση της σύνθετης ρητίνης θα γίνει πιο γρήγορα στα όρια της κοιλότητας όπου η σύνθετη ρητίνη είναι περισσότερο θερμή, λόγω της επαφής της με το δόντι. Επιπλέον, η χρησιμοποίηση ενός συγκολλητικού παράγοντα, χημικά πολυμεριζόμενου ή διπλού συστήματος πολυμερισμού, θα προκαλέσει έναρξη της αντίδρασης πολυμερισμού της σύνθετης ρητίνης στα όρια της κοιλότητας, παρέχοντας μία έτοιμη πηγή ελευθέρων ριζών από μία αντίδραση πολυμερισμού που, ήδη, βρίσκεται σε εξέλιξη⁸⁰.

Όμως, παρά τις ευνοϊκές προϋποθέσεις για ελάττωση του περιεμφρακτικού χώρου, η αποτελεσματικότητα της τεχνικής αυτής στην ελάττωση της μικροδιείσδυσης των εμφράξεων έχει αμφισβητηθεί σοβαρά από διάφορους ερευνητές^{49,74}.

6. Τροποποιήσεις στην τεχνική του πολυμερισμού

Επειδή η συστολή πολυμερισμού των συνθέτων ρητινών ελαττώνει τη συγκολλητική αντοχή των εμφράξεων, έχουν γίνει σημαντικές προσπάθειες για τη μείωσή της. Οι προσπάθειες εστιάζονται στη σύνθεση νέων μονομερών με μικρότερη συστολή πολυμερισμού, οι οποίες όμως προς το παρόν δεν απέδωσαν τα αναμενόμενα αποτελέσματα, και στην προσθήκη περισσότερων ενισχυτικών ουσιών, η οποία βελτίωσε την ογκομετρική συστολή πολυμερισμού²². Τη μεγαλύτερη όμως επιτυχία σημείωσε η εφαρμογή της τεχνικής του φωτοπολυμερισμού αυξανόμενης έντασης, η οποία βρήκε άμεση εφαρμογή με την κατασκευή λυχνιών αλογόνου εκπομπής δύο σταδίων (χαμηλή-υψηλή ένταση) ή εκθετικά αυξανόμενη ένταση.

Κατά τα πρώτα στάδια του πολυμερισμού της σύνθετης ρητίνης, το υλικό έχει την ιδιότητα της ροής του ενός στρώματος μορίων επάνω στο άλλο και έτσι, δεν αναπτύσσονται δυνάμεις αποκόλλησης του από τα τοιχώματα της κοιλότητας. Από μία χρονική στιγμή και μετά, όμως, η οποία ονομάζεται σημείο gel (gel point), το υλικό δεν μπορεί πλέον να παρουσιάσει κολλώδη ροή και ακολουθεί τη συστολή ενός στερεού σώματος⁸¹. Έτσι, αποκτά ενδιαφέρον η ταχύτητα με την οποία αυξάνει η ακαμψία του υλικού μέχρι να γίνει τελικά, τελείως, άκαμπτο. Κάθε παράγοντας που μπορεί να ελαττώσει την ταχύτητα ανάπτυξης της ακαμψίας του υλικού, κατά τη διάρκεια του πολυμερισμού, θα δώσει χρόνο για την ολοκλήρωση του δεσμού μεταξύ του συγκολλητικού παράγοντα και των οδοντικών ιστών και τη βελτίωση, έτσι, της οριακής εφαρμογής⁸². Ένας τέτοιος παράγοντας είναι η ταχύτητα με την οποία πολυμερίζεται το υλικό.

Οι Burrow και συν.⁸³ βρήκαν σημαντική αύξηση της αντοχής στον εφελκυσμό του δεσμού μιας σύνθετης ρητίνης στην οδοντίνη μεταξύ άμεσης μέτρησης (μέσα σε 40 δευτ.) και μετά από 10 λεπτά. Με τον τρόπο αυτό απέδειξαν ότι η ολοκλήρωση του δεσμού αναπτύσσεται

με γρήγορο ρυθμό ακόμα και στα πρώιμα στάδια του πολυμερισμού. Έτσι, κάθε χειρισμός που έχει σαν αποτέλεσμα την ελάττωση της ταχύτητας πολυμερισμού, αυξάνει χρονικά την ικανότητα του υλικού για ροή και παρέχει στο δεσμό περισσότερο χρόνο για την ολοκλήρωσή του. Επειδή υπάρχει άμεση γραμμική σχέση μεταξύ της έντασης του φωτός της συσκευής πολυμερισμού και της συστολής πολυμερισμού^{37,38}, ο τρόπος με τον οποίο μπορεί να πραγματοποιηθεί η ελάττωση της ταχύτητας πολυμερισμού σε φωτοπολυμεριζόμενες σύνθετες ρητίνες είναι να μεταβληθεί η ένταση του φωτός.

Σε μετρήσεις που έγιναν για να υπολογιστεί ο βαθμός πολυμερισμού φωτοπολυμεριζόμενης σύνθετης ρητίνης σε σχέση με το ιξώδες της σύνθεσης ρητίνης, όταν μεταβάλλεται η ένταση του φωτός της συσκευής φωτοπολυμερισμού, βρέθηκαν τα ακόλουθα: όταν η σύνθετη ρητίνη πολυμερίστηκε αρχικά με ακτινοβολία φωτός 150mW/cm² παρουσίασε ιξώδες 20kPas και πολυμερίστηκε κατά 60% στα 10 δεύτ. Αντίθετα, όταν η αρχική ακτινοβολία ήταν 700mW/cm², το αποτέλεσμα ήταν ιξώδες 450kPas και ο βαθμός πολυμερισμού 80% στον ίδιο χρόνο⁸⁴.

Για τη βελτίωση της οριακής πρόσφυσης των εμφράξεων σύνθετης ρητίνης αναπτύχθηκε η τεχνική της ήπιας έναρξης (soft start) ή τεχνική των 2 σταδίων (two-step), κατά την οποία η έναρξη του πολυμερισμού γίνεται με χαμηλή ένταση ακτινοβολίας και στη συνέχεια ακολουθεί συνεχής ακτινοβολία υψηλής έντασης ή κυμαινόμενη ακτινοβολία υψηλής έντασης. Μια άλλη μορφή ακτινοβολίας που εφαρμόζεται είναι η εκθετικά αυξανόμενη εκπομπή. Αυτό που χαρακτηρίζει τις λυχνίες αυτές είναι ότι ο αρχικός πολυμερισμός χαμηλής έντασης δε στερεοποιεί άμεσα τη σύνθετη ρητίνη, αλλά διατηρεί για λίγα δευτερόλεπτα την ιδιότητα της ροής και έτσι, μειώνεται η ολική συστολή πολυμερισμού^{85,86}. Έχει βρεθεί ότι με την εφαρμογή της τεχνικής των δύο βημάτων επιτυγχάνεται καλύτερη οριακή πρόσφυση, ενώ ο βαθμός πολυμερισμού, η ολική συστολή και οι φυσικές ιδιότητες της σύνθετης ρητίνης παραμένουν αμετάβλητα⁸⁷⁻⁹⁰.

7. Ένθετα σύνθετης ρητίνης

Κατά τα τελευταία χρόνια, η χρησιμοποίηση των ενθέτων σύνθετης ρητίνης για έμφραξη οπίσθιων δοντιών κερδίζει όλο και περισσότερο έδαφος.

Το σημαντικότερο πλεονέκτημα των ενθέτων σύνθετης ρητίνης είναι ότι μειώνεται η συνολική συστολή πολυμερισμού της σύνθετης ρητίνης, καθώς η κύρια μάζα του εφρακτικού υλικού συστέλλεται κατά τη διαδικασία της κατασκευής του ενθέτου. Η διαδικασία κατασκευής του ενθέτου περιλαμβάνει το συμπληρωματικό πολυμερισμό της φωτοπολυμεριζόμενης σύνθετης ρητίνης με ορατό φως και θερμότητα, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα τη βελτίωση των φυσικών ιδιοτή-

των της σύνθετης ρητίνης⁹¹⁻⁹³. Το ένθετο συγκολλάται αργότερα στην κοιλότητα και μόνο η μικρή ποσότητα της ρητίνης συγκόλλησης συστέλλεται μέσα στην κοιλότητα.

Αποτέλεσμα της μικρής συστολής πολυμερισμού που συντελείται μέσα στην κοιλότητα είναι η εμφάνιση μικρότερης μικροδιείσδυσης^{94,95}.

Τα ένθετα σύνθετης ρητίνης είτε προπαρασκευάζονται στο στόμα πριν από την τοποθέτησή τους στον κλίβανο για τον συμπληρωματικό πολυμερισμό (άμεσα ένθετα) είτε προπαρασκευάζονται στο εκμαγείο ύστερα από λήψη αποτυπωμάτων. Δεν είναι ξεκάθαρο ποια από τις δύο μεθόδους είναι περισσότερο αποτελεσματική στην ελάττωση της μικροδιείσδυσης, διότι τα αποτελέσματα σχετικών μελετών είναι αντιφατικά^{95,96}.

Συμπεράσματα

Παρά τη μεγάλη ερευνητική προσπάθεια των τελευταίων ετών δεν κατέστη, ακόμα, δυνατή η εξάλειψη της μικροδιείσδυσης των εμφράξεων σύνθετης ρητίνης.

Ενώ η συγκόλληση της σύνθετης ρητίνης στην αδαμαντίνη είναι ικανοποιητική και έχει μεγάλη διάρκεια, η συγκόλληση στην οδοντίνη παρουσιάζει ορισμένα προβλήματα παρά την εμφάνιση νέων βελτιωμένων συγκολλητικών παραγόντων.

Η τεχνική φωτοπολυμερισμού αυξανόμενης έντασης είναι η πλέον αξιόπιστη μέθοδος αντιμετώπισης των αρνητικών συνεπειών της συστολής πολυμερισμού των συνθέτων ρητινών.

Βιβλιογραφία

- McLean JW, Powis DR, Prosser HJ, Wilson AD. Use of glass ionomer cements in bonding composite resins to dentin. *Br. Dent* 1985; 158:410-4.
- Asmussen E. The effect of temperature changes on adaptation of resin fillings. I. *Acta Odontol Scand* 1974; 32:161-71.
- Lee HL, Swartz ML. Scanning electron microscope study of composite restorative materials. *J Dent Res* 1970; 49:149-58.
- Eakle WS. Effect of thermal cycling on fracture strength and micro-leakage in teeth restored with a bonded composite resin Dent Mater, 1986; 2:114-7.
- Asmussen E. Composite resins: composite versus wall-to-wall polymerization contraction. *Acta Odontol Scand* 1975; 33:337-44.
- Bowen RL, Rapson JE, Dickson G. Hardening shrinkage and hygroscopic expansion of composite resins. *J Dent Res* 1982; 61:654-8.
- Goldman M. Polymerization shrinkage of resin-bonded restorative materials. *Aust Dent J* 1983; 28:156-61.
- Hay JN, Shortall AC. Polymerization contraction and reaction kinetics of three chemically activated restorative resins. *J Dent* 1988; 16:172-6.
- Davidson CL, de Gee AJ. Relaxation of polymerization

- contraction stresses by flow in dental composites. *J Dent Res*. 1984; 63:146-8.
10. Bayne SC, Taylor DF. Dental Materials. In: Sturdevant C.M. ed. *The Art and Science of Operative Dentistry*. 3th edition. Mosby St. Louis. 1995; 206-87.
 11. Raadal M. Microleakage around preventive composite filling in loaded teeth. *Scand J Dent Res*. 1979; 87:390-4.
 12. Hembree JH, Taylor TJ. Marginal leakage of visible light-cured composite resin restorations. *J Prosthet Dent*. 1984; 52:790-3.
 13. Brannstrom M, Torstensen B, Nordenvall KJ. The initial gap around large composite restoration in vitro: the effect of etching enamel walls. *J Dent Res* 1984; 63: 681-4.
 14. Phair CB, Fuller JL. Microleakage of composite resin restorations with cementum margins. *J Prosthet Dent* 1985; 53:161-4.
 15. Gwinnett AJ, Buonocore MG. Adhesives and caries prevention: A preliminary report. *Br Dent J* 1965; 119:77-82.
 16. Gottlieb EW, Retief DH, Jamison HC. An optimal concentration of phosphoric acid as an etching agent. Part I: Tensile bond strength studies. *J Prosthet Dent* 1982; 48:48-51.
 17. Gross JD, Retief DH, Bradley EL. An optimal concentration of phosphoric acid as an etching agent. Part II: Microleakage studies. *J Prosthet Dent* 1984; 52:786-9.
 18. Shaffer SE, Barkmeier WW, Kelsey WP. Effect of reduced acid conditioning time on enamel microleakage. *Gen Dent*. 1987; 35:278-80.
 19. Summitt JB, Chan DCN, Burgess JO, Dutton FB. Effect of air/water rinse versus water only and of five rinse times on resin-to-etched-enamel shear bond strength. *Oper Dent* 1992; 17:142-51.
 20. Van Meerbeek B, Mohrbacher H, Celis JP, Roos JR, Braem M, Lambrechts P, Vanherle G.. Chemical characterization of the resin-dentin interface by micro-ram spectroscopy. *J Dent Res* 1993; 72:1423-8.
 21. Van Meerbeek B, Perdigao J, Lambrechts P, Vanherle G.: The clinical performance of adhesives. *J Dent* 1998; 26:1-20.
 22. Ηλιάδης Γ. Συγκόλληση με τους οδοντικούς ιστούς: Το πρόβλημα και η λύση του. *Ελλ Στομ Χρον* 2002, 46:84-7.
 23. Inoue S, Van Meerbeek B, Vargas M, Yoshida Y, Lambrechts P, Vanherle G. Adhesion mechanism of self-etching adhesives In: Tagami J, Toledano J, Prati C, eds *Advanced Adhesive Dentistry*, 3rd Kyraray International Symposium, Crimido (Como), Crafiche Errudue 1999; 131-48.
 24. Snano HS, Shono T, Sonoda H, Takatsu T, Ciocchi B, Carvahlo R, Pashley DH. Relationship between surface area for adhesion and tensile bond strength-Evaluation of a micro-tensile bond test. *Dent Mater* 1994; 10:236-40.
 25. Nakabayashi N, Pashley D. *Hybridization of Dental Hard Tissues*, Chicago, Quintessence Publishing Co, 1998.
 26. Shono Y, Terashita M, Shimada J, Kozono Y, Carvalho RM, Russel CM, Pashley DH. Durability of resin dentin bonds. *Journal of Adhesive Dentistry* 1999; 1:211-8.
 27. Sano H, Yoshikawa T, Pereira PNR, Kanemura N, Morigami M, Tagami J, Pashley DH. Long-term durability of dentin bonds made with a self-etching primer, in vivo. *Journal of Dental Research* 1999; 78:906-11
 28. Okuda M, Pereira PNR, Nakajima M, Tagami J. Relationship between nanoleakage and long-term durability of dentin bonds. *Oper Dent* 2001; 2:482-90.
 29. Hashimoto M, Ohno H, Kaga M, Endo KH, Sano H, Oguchi H. In vivo degradation of resin-dentin bonds in humans over 1 to 3 years. *J of Dent Res* 2000; 79: 1385-91.
 30. Di Renzo M, Ellis TH, Sacher E, Stangel I. A photoacoustic FTIR study of the chemical modifications of human dentin surfaces: II. Deproteinization. *Biomaterials* 2001; 22:793-7.
 31. Marshall GW, Yucel N, Balooch M, Kinney JH, Habelitz S, Marshall SJ. Sodium hypochlorite alterations of dentin and dentin collagen. *Surface Science* 2001; 491:444-55.
 32. Pioch T, Kobaslija S, Huseinbegovic A, Moller K, Drolf S. The effect of NaOCl dentintreatment on nanoleakage formation. *J Biomed Mater Res* 2001; 56:578-83.
 33. Tay FR, Gwinnett AJ, Wei SHY. The overwet phenomenon: a transmission electron microscope study of surface moisture in the acid-conditioned, resin-dentin interface. *Am J Dent* 1996; 9:161-6.
 34. Jacobsen T, Soderholm KJ. Some effects of water on dentin bonding. *Dent. Mater* 1995; 11:132-6.
 35. De Goes MF, Feiulalu Pachane GC, Garcia-Godoy F. Resin bond strength with different methods to remove excess water from the dentin. *Am J Dent* 1997; 10:298-301.
 36. Braem M, Lambrechts P, Van Doren V, Vanherle G. The impact of composite structure on its elastic response. *J Dent Res* 1986; 65:648-53.
 37. Bouschlicher MR, Vargas MA, Boyer DB. Effect of composite type, light intensity, configuration factor and laser polymerization on polymerization contraction forces. *Am J Dent* 1997; 10:88-96.
 38. Sakaguchi RL, Douglas WH, Peters MCRB. Curing light performance and polymerization of composite restorative materials. *J Dent* 1992; 20:183-8.
 39. Kemp-Scholte CM, Davidson CL. Complete marginal seal of class V resin composite restorations effected by increased flexibility. *J Dent Res* 1990; 69:1240-3.
 40. Kemp-Scholte CM, Davidson CL. Marginal integrity related to bond strength and strain capacity of composite resin restorative systems. *J Prosthet Dent* 1990; 64:658-64.
 41. Moon PC, Chang YH. Effect of DBA layer thickness on composite resin shrinkage stress. *J Dent Res* 1992; 71:275 (Abst 1375).
 42. Hilton TJ, Schwartz RS, Ferracane JL. Fifth generation bonding agent application techniques effects on bond strength. *J Dent Res* 1998; 77:130 (Abst. 214)
 43. Ferrari M, Davidson C. Sealing capacity of a resin-modified glass-ionomer and resin composite placed in vivo in Class 5 restorations. *Oper Dent* 1996; 21:69-72.
 44. Mason P, Ferrari M. In vivo evaluation of glass-ionomer cement adhesion to dentin. *Quintessence Int* 1994; 25:499-504.

45. Taylor M, Lynch E. Microleakage, J. Dent 1996; 20:3-10.
46. McLean J, Powis D, Prosser H. The use of glass ionomer cements in bonding composite resins to dentine. Br Dent J 1985; 158:410-4.
47. Sinhu SK, Henderson LJ. In vitro marginal leakage of cervical composite restoration lined with a light-cured glass ionomer. Oper Dent 1992; 17:7-12.
48. Prati C, Nucci C, Davidson CL, Montanari G. Early marginal leakage and shear bond strength of adhesive restorative systems. Dent Mater 1990; 6:195-200.
49. Miller MB, Castellanos IR, Vargas MA, Denehy GE. Effect of restorative materials on microleakage of class II composites. J Esthet Dent 1996; 8:107-13.
50. Aboushala A, Kugel G, Hurley E. Class II composite resin restorations using glass-ionomer liners: Microleakage studies. J Clin Pediatr Dent 1996; 21:67-71.
51. Yap AUJ, Mok BYY, Pearson G. An in vitro microleakage study of the bonded-base restorative technique. J. Oral Rehabil 1997; 24:230-6.
52. Friedl KH, Schmalz G, Hiller KA, Mortazavi F. Marginal adaptation of composite restorations versus hybrid ionomer/ composite sandwich restorations. Oper Dent 1997; 22:21-9.
53. Ciucchi B, Bouillaguest S, Delaloye M, Holz J. Volume of the internal; gap formed under composite restorations in vitro. J Dent 1997; 25:305-12.
54. Meyers R, Garcia-Godoy F, Norling B. Failure mode of a posterior composite resin bonded to a glass ionomer cement treated with various etching times and with or without a coupling agent. Quintessence Int 1990; 21:501-6.
55. Suzuki M, Jordan R. Glass ionomer-composite sandwich technique, JADA 1990 ; 120 :55-7.
56. Luescher B, Lutz F, Ochsenbein H, Muehleemann H.R.. Microleakage and marginal adaptation in conventional and adhesive class II restorations. J Prosthet Dent 1977; 37:300-9.
57. Porte A, Lutz F, Lund MR, Swartz ML, Cochran MA. Cavity designs for composite resins. Oper Dent 1984; 9:50-6.
58. Dionysopoulos P, Skolianos S, Papadogiannis Y. A study of the microstructure of some dental retention pins and prefabricated root canal posts. J Oral Rehabil. 1995; 22:29-35.
59. Liberman R, Gorfil C, Ben-Amar A. Reduction of microleakage in glass II composite resin restoration using retentive pins. J Oral Rehabil 1996; 23:240-3.
60. Heymann HO, Sturdevant JR, Roberson TM, Sockwell CL. Tooth-colored restorations for class I, II and VI cavity preparations. In: The Art and Science of Operative Dentistry. Ed: Sturdevant C.M, 3th Edition, Mosby, St. Louis, 1995; 586-625.
61. Holan G, Eidelman E, Wright GZ. The effect of internal bevel on marginal leakage at the approximal surface of class 2 composite restorations. Oper Dent 1997; 22:217-21.
62. Coli P, Blixt M, Brannstrom M. The effect of cervical grooves on the contraction gap in class 2 composites. Oper Dent 1993; 18:33-6.
63. Christensen GJ. Cavity preparation: Cutting or abrasion? JADA 1996; 127:1651-4.
64. Zyskind D, Zyskind BBK, Hirschteli DZ, Fiks DAB. Effect of etching on leakage of sealants placed after air abrasion. Pediatr Dent 1998; 20:25-7.
65. Roeder LB, Berry EA, You C, Powers JM. Bond strength of composite to air-abraded enamel and dentin. Oper Dent 1995; 20:186-90.
66. Los SA, Barkmeier WW. Effects of dentin air abrasion with aluminum oxide and hydroxyapatite on adhesive bond strength. Oper Dent 1994; 19:169-75.
67. Berry EA, Ward M. Bond strength of resin composite to air-abraded enamel. Quintessence Int 1995; 26:559-62.
68. Brown JR, Barkmeier WW. A comparison of six enamel treatment procedures for sealant bonding. Pediatr Dent 1996; 18:29-31.
69. Donly KJ, Wild TW, Bowen RL, Jensen ME.. An in vitro investigation of the effects of glass inserts on the effective composite resin polymerization shrinkage. J Dent Res 1989; 68:1234-7.
70. Tjan AHL, Bergh BH, Lidner C. Effect of various incremental techniques on the marginal adaptation of class II composite resin restorations. J Prosthet Dent 1992; 67:62-6.
71. Διονυσόπουλος Π, Παπαδογιάννης Ι. Μελέτη με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (SEM) της πρόσφυσης στην οδοντίνη ουδέτερων στρωμάτων υαλοϊονομερούς κοιλίας. Το Στόμα 1996; 24:205-10.
72. Lutz F, Krejeji I, Luescher B, Oldenburg TR. Improved proximal margin adaptation of class II composite resin restorations by the use of light-reflecting wedges. Quintessence Int. 1986; 17:659-64.
73. Lambrechts P, Bream M, Vanherle G. Evaluation of clinical performance for posterior composite resins and dentine adhesives. Oper Dent.1987; 12:53-78.
74. Hilton TJ, Schwartz RS, Ferracane JL. Microleakage of four class II resin composite insertion techniques at intraoral temperature. Quintessence Int. 1997; 28:135-44.
75. Hilton TJ. Direct Posterior Esthetic Restorations. In: Summitt JB, ed. Fundamentals of Operative Dentistry. A Contemporary Approach. Chicago: Quintessence Publishing Co, Inc.2001; 10:260-305.
76. Ericson D, Derand T. Reduction of cervical gaps in Class II composite resin restorations. J Prosthet Dent 1991; 65:33-7.
77. von Beetz M, Li J, Nicander I, Sundstrom F. Microhardness and porosity of Class 2 light-cured composite restorations cured with a transparent cone attached to the light-curing wand. Oper Dent 1993; 18:103-9.
78. Coli P, Derhami K, Brannstrom M. In vitro marginal leakage around class II resin composite restorations with glass-ceramic inserts. Quint Int 1997; 28:755-60.
79. Applequist EA, Meiers JC. Effect of bulk insertion, pre-polymerized resin composite balls, and beta-quartz inserts on microleakage of class V resin composite restorations. Quint Int. 1996 ; 27:253-8.
80. Fusayama T. Indications for self-cured and light-cured adhesive composite resins. J Prosthet Dent 1992; 67:46-51.

81. Davidson CL, Feilzer AJ. Polymerization shrinkage and polymerization shrinkage stress in polymer-based restoratives. *J Dent* 1997; 25:435-40.
82. Charlton DG, Moore BK. Effect of age of sample on the shear bond strength on dentin bonding agents to dentin. *JADA* 1991; 70:23-6.
83. Burrow MF, Taniguchi Y, Nikaido T, Satoh M, Inai N, Tagani J, Takatsu T. Influence of temperature and relative humidity on early bond strengths to dentine. *J Dent* 1995; 23:41-5.
84. Koran P, Kurschner R. Effect of sequential versus continuous irradiation of light-cured resin composite on shrink-age, viscosity, adhesion and degree of polymerization. *Am J Dent* 1998; 10:17-22.
85. Sakaguchi RL, Berge HX. Reduced light energy density decreases post-gel contraction while maintaining degree of conversion in composites. *J Dent* 1998; 26:695-700.
86. Silikas N, Eliades G, Watts DC. Light intensity effects on resin-composite degree of conversion and shrinkage strain. *Dent Mater* 2000; 16:292-6.
87. Feilzer AJ, Dooren LH, De Gee AJ, Davidson CL. Influence of light intensity on polymerization shrinkage and integrity of restoration-cavity interface. *Eur J Oral Sci* 1995; 103:322-6.
88. Uno S, Asmussen E. Marginal adaptation of a restorative resin polymerized at reduced rate. *Scand J Dent Res* 1991; 99:440-4.
89. Koran P, Kurschner R. Effect of sequential versus continuous irradiation of light-cured resin composite on shrinkage, viscosity, adhesion, and degree of polymerization. *Am J Dent* 1998; 10:17-22.
90. Mehl A, Staunau H, Schreyger D, Kunzelmann KH, Hickel R. The influence of precuring on the material properties of composite resins. *J Dent Res* 1995; 74:462, (Abst 496).
91. Wendt SL. The effect of heat used as a secondary cure upon the physical properties of three composite resins. *Quintessence Int.* 1987; 18:265-271, 351-6.
92. Dionysopoulos P, Watts DC. Dynamic mechanical properties of an inlay composite. *J Dent* 1989; 17:140-4.
93. Διονυσόπουλος Π. Η επίδραση του συμπληρωματικού πολυμερισμού μιας σύνθετης ρητίνης στην αντοχή στην κάμψη. *Οδοντ.Πρόσδος* 1994; 48:19-23
94. Douglas WH, Fields RP, Fundingsland J. A comparison between the microleakage of direct and indirect composite restorative systems. *J.Dent* 1989; 17:184-8.
95. Liberman R, Ben-Amar A, Herteanu L, Judes H. Marginal seal of composite inlays using different polymerization techniques. *J Oral Rehabil* 1997; 24:26-9.
96. Hasanreisoglu U, Sonmez H, Uctasli S, Wilson HJ. Microleakage of direct and indirect inlay/onlay systems. *J Oral Rehabil* 1996; 23:66-71.