

Η επίδραση των σύγχρονων φθοριούχων εμφρακτικών υλικών στο σχηματισμό δευτερογενούς τερηδόνας

Δ. ΔΙΟΝΥΣΟΠΟΥΛΟΣ¹

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

The influence of fluoride release from contemporary fluoride-containing materials on secondary caries formation

D. DIONYSOPOULOS¹

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

Περίληψη

Ο σκοπός της βιβλιογραφικής αυτής ανασκόπησης ήταν η παρουσίαση των πιο πρόσφατων γνώσεων σχετικά με τις ιδιότητες των φθοριούχων εμφρακτικών υλικών, όπως και η συζήτηση των σύγχρονων απόψεων που αφορούν την πρόληψη της ανάπτυξης της δευτερογενούς τερηδόνας.

Η απελευθέρωση του φθορίου από τα φθοριούχα εμφρακτικά υλικά είναι μια σύνθετη διαδικασία, η οποία εξαρτάται από ποικίλους παράγοντες, οι οποίοι επηρεάζουν, κατά διαφορετικό τρόπο και βαθμό, τη διαδικασία αυτή. Οι παράγοντες αυτοί είναι η χημική σύνθεση, η φύση και η δομή των υλικών, η αντίδραση πήξης των υλικών, η φύση και η χημική σύσταση του διαλύματος που βρίσκονται τα υλικά, η εκτεθειμένη επιφάνεια των υλικών και οι τεχνικές λείανσής τους.

Η αντιτερηδονική δράση των φθοριούχων εμφρακτικών υλικών αποδίδεται στη συνεχή απελευθέρωση ιόντων φθορίου από αυτά. Επειδή, η ποσότητα του φθορίου που απελευθερώνεται από τα εμφρακτικά υλικά με την πάροδο του χρόνου ελαττώνεται, έχει προταθεί να αξιοποιηθεί η ιδιότητα των υλικών να επαναφορτίζονται με φθόριο, ώστε να διατηρείται μια συνεχής απελευθέρωση ιόντων φθορίου από αυτά. Η ιδιότητα αυτή των φθοριούχων εμφρακτικών υλικών εξαρτάται από τον τύπο και τη διαπερατότητα του υλικού, από τη συχνότητα της έκθεσης του υλικού σε φθόριο, από το είδος, τη μορφή και την περιεκτικότητα του υλικού φθορίωσης και από το είδος και το pH του διαλύματος που βρίσκονται τα υλικά.

Σχεδόν όλες οι *in vitro* έρευνες και πολλές *in situ*, που μελετούν την επίδραση των φθοριούχων εμφρακτικών υλικών στην ανάπτυξη της δευτερογενούς τερηδόνας, έχουν καταλήξει στο συμπέρασμα ότι τα φθοριούχα εμφρακτικά υλικά είναι αποτελεσματικά στην ελάττωση της δευτερογενούς τερηδόνας. Αντίθετα, οι μελέτες *in vivo* εμφάνισαν αντιφατικά αποτελέσματα, τα οποία δεν επιτρέπουν τη σαφή εκτίμηση για την αντιτερηδονική ιδιότητα των φθοριούχων εμφρακτικών υλικών.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Φθοριούχα εμφρακτικά υλικά, απελευθέρωση φθορίου, επαναφόρτιση φθορίου, δευτερογενής τερηδόνα

Summary

The aim of this study was to review the fluoride release and recharge capabilities of fluoride-releasing dental restoratives, and discuss the current status concerning the prevention or inhibition of secondary caries.

Fluoride-containing dental materials show clear differences in the fluoride release and uptake characteristics. The elution of fluoride is a complex process. It can be affected by several intrinsic variables, such as formulation and fillers. It is also influenced by experimental factors, i.e. storage media, frequency or change of the storage solution, composition and pH value of saliva, dental plaque and pellicle formation.

Due to the fact that fluoride levels leached from fluoride containing filling materials decreased over time the "recharging" of restoratives with fluoride has been suggested to maintain a continuously increased level of fluoride release. The ability of a restorative material to act as a fluoride reservoir is mainly dependent on the type and permeability of filling material, on the frequency of fluoride exposure and on the kind and concentration of the fluoridating agent.

In vitro, several fluoride-releasing restorative materials have shown to inhibit enamel and dentin demineralization produced by acidic gels or demineralizing buffer solutions. Thereby, inhibition of enamel demineralization is located up to a distance of 7 mm from the edge of the material.

Despite the cariostatic effect achieved from an increase of fluoride content in saliva, plaque and dental hard tissues, clinical studies exhibited conflicting data as to whether or not these materials sufficiently prevent or inhibit secondary caries compared to non fluoridated restoratives.

KEY WORDS: Fluoride-releasing restoratives, fluoride release, fluoride uptake, secondary caries

Εισαγωγή

Η αντιτερηδονογόνος δράση του φθορίου, που έχει μελετηθεί εδώ και πολλές δεκαετίες, εκδηλώνεται με¹: α) τη μείωση της απασβεσίωσης της οδοντικής επιφάνειας, β) την ενίσχυση της επανασβεσίωσης της οδοντικής επιφάνειας και γ) την αναστολή της ανάπτυξης και του μεταβολισμού των τερηδονογόνων μικροβίων και του σχηματισμού της μικροβιακής πλάκας. Οι δύο πρώτοι μηχανισμοί φαίνεται να έχουν και τον πρωταρχικό ρόλο στην αναστολή της εξέλιξης της τερηδόνας και κυρίως ο δεύτερος^{1,2}.

Απαραίτητη προϋπόθεση για την αντιτερηδονογόνο δράση του φθορίου είναι η συνεχής παρουσία ελεύθερων ιόντων του, σε κατάλληλες συγκεντρώσεις, γύρω από τους οδοντικούς ιστούς³. Γι' αυτόν το λόγο εμφανίστηκαν τα φθοριούχα εμφρακτικά υλικά, τα οποία αποτελούν σταθερή πηγή συνεχούς απελευθέρωσης ιόντων φθορίου, με σκοπό την πρόσληψή τους από τους γειτονικούς οδοντικούς ιστούς, ώστε να προστατεύονται από τη δευτερογενή τερηδόνα.

Η χρήση φθοριούχου οδοντόπαστας και διάφορου τύπου φθοριούχων σκευασμάτων είναι χρήσιμη, αλλά εξαρτάται από το βαθμό συνεργασίας του ασθενή. Τα φθοριούχα εμφρακτικά υλικά, έχοντας τη δυνατότητα να δρουν ως αποθήκες ιόντων φθορίου, εξασφαλίζουν τη συνεχή παρουσία του φθορίου στην ευαίσθητη στην τερηδόνα περιοχή γύρω από τις εμφράξεις¹.

Στο παρελθόν μελετήθηκαν εκτενώς οι ιδιότητες πολλών εμφρακτικών υλικών που απελευθερώνουν φθόριο με διαφορετικές μεθόδους. Τα πρώτα υλικά που παρουσιάστηκαν με την ιδιότητα αυτή ήταν οι πυριτικές κονίες και αργότερα οι συμβατικές υαλοϊονομερείς κονίες. Η ανάγκη βελτίωσης των ιδιοτήτων τους και κυρίως η μέτρια αισθητική τους, οδήγησε στην εμφάνιση των φθοριούχων πολυμερών εμφρακτικών υλικών.

Επιπλέον, η σταδιακή αλλαγή στη φιλοσοφία της αντιμετώπισης των τερηδονικών βλαβών με την παρασκευή συντηρητικών αποκαταστάσεων, αλλά και η απαίτηση για καλύτερη αισθητική, οδήγησε στην εμφάνιση υλικών με την ιδιότητα της σύνδεσής τους με τους οδοντικούς ιστούς, μέσω συνδετικών συστημάτων. Τέτοια εμφρακτικά υλικά που μπορούν να συνδυάζουν την παραπάνω ιδιότητα με την αντιτερηδονογόνο δράση της απελευθέρωσης φθορίου, είναι οι φθοριούχες σύνθετες ρητίνες (fluoride-containing composite resins), οι ρητινώδεις τροποποιημένες υαλοϊονομερείς κονίες (resin-modified glass ionomer cements), οι πολυόξινες τροποποιημένες σύνθετες ρητίνες (polyacid-modified composites ή compomers) και μια σχετικά νέα κατηγορία σύνθετων ρητινών, τα giomers, που είναι σύνθετες ρητίνες με

ενισχυτικές ουσίες PRG (Pre-Reacted Glass ionomer fillers).

Ο σκοπός της βιβλιογραφικής αυτής ανασκόπησης ήταν η παρουσίαση των πιο πρόσφατων γνώσεων σχετικά με τις ιδιότητες των φθοριούχων εμφρακτικών υλικών, όπως και η συζήτηση των σύγχρονων απόψεων που αφορούν την πρόληψη της ανάπτυξης της δευτερογενούς τερηδόνας.

Σύγχρονα φθοριούχα αισθητικά εμφρακτικά υλικά

Τα σύγχρονα αισθητικά εμφρακτικά υλικά, που απελευθερώνουν φθόριο, μπορούν να χωριστούν σε διάφορες κατηγορίες με βάση τις μηχανικές και φυσικές τους ιδιότητες, τη χημική τους σύσταση και το μηχανισμό πήξης τους. Με βάση αυτούς του παράγοντες οι συμβατικές υαλοϊονομερείς κονίες (conventional glass ionomer cements) βρίσκονται στο ένα άκρο του φάσματος των αισθητικών φθοριούχων εμφρακτικών υλικών, ενώ στο άλλο άκρο βρίσκονται οι σύνθετες ρητίνες που απελευθερώνουν φθόριο (fluoride-releasing composite resins). Οι ρητινώδεις τροποποιημένες υαλοϊονομερείς κονίες (P.T.Y.K.) βρίσκονται πιο κοντά στις συμβατικές υαλοϊονομερείς κονίες (Σ.Y.K.), ενώ τα giomers και τα compomers, βρίσκονται πιο κοντά στις φθοριούχες σύνθετες ρητίνες¹.

Τα υλικά αυτά λόγω της διαφορετικής τους χημικής σύστασης και του διαφορετικού μηχανισμού πήξης τους, διαφέρουν σημαντικά ως προς τη δυνατότητά τους να απελευθερώνουν φθόριο. Ακόμα και από την ίδια κατηγορία εμφρακτικών υλικών μπορεί να υπάρχει διαφορά στην απελευθέρωση φθορίου μεταξύ των σκευασμάτων από τις διάφορες εταιρίες. Εκτιμάται ότι οι αντιμικροβιακές και αντιτερηδονικές ιδιότητες των υλικών αυτών εξαρτώνται κατά κύριο λόγο από το φθόριο που απελευθερώνουν, σε συνάρτηση με το χρόνο¹.

Οι Σ.Y.K. εμφανίστηκαν για πρώτη φορά ως εμφρακτικά υλικά το 1972 από τους Wilson & Kent και υπήρξαν το αποτέλεσμα συνδυασμού της τεχνολογίας των πυριτικών και των πολυκαρβοξυλικών κονιών. Οι σύγχρονες Σ.Y.K. είναι υλικά με καλή βιοσυμβατότητα, έχουν ικανότητα χημικής σύνδεσης με τους οδοντικούς ιστούς, έχουν χαμηλό συντελεστή θερμικής διαστολής και μπορούν να απελευθερώνουν και να επαναπροσλαμβάνουν ιόντα φθορίου για μεγάλο χρονικό διάστημα και σε μεγάλες ποσότητες, με αποτέλεσμα να έχουν καλές αντιτερηδονικές ιδιότητες, τις καλύτερες από όλα τα εμφρακτικά υλικά⁴.

Στα μειονεκτήματά τους είναι η δυσκολία που εμφανίζουν στους χειρισμούς, η ευαισθησία της τεχνικής εφαρμογής τους, η μικρή αντίστασή τους στην αποτριβή, οι φτωχές μηχανικές ιδιότητές τους, η χαμηλή αισθητική τους και η αυξημένη μικροδεί-

δυση που παρουσιάζουν οι εμφράξεις τους⁵. Για το λόγο αυτόν οι Σ.Υ.Κ., ως εμφρακτικά υλικά, ενδείκνυνται σε αποκαταστάσεις περιορισμένης έκτασης, που δέχονται μικρές καταπονήσεις και έχουν μικρή σημασία στην αισθητική, όπως σε εμφράξεις Vης ομάδας σε οπίσθια δόντια⁶. Τελευταία έχουν κυκλοφορήσει στο εμπόριο σκευάσματα ενισχυμένων Σ.Υ.Κ., που όπως υποστηρίζεται από τους κατασκευαστές τους, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε κοιλότητες Ιης και ΙΙης ομάδας σε οπίσθια δόντια, ενώ και η αισθητική τους έχει βελτιωθεί ακόμα περισσότερο.

Οι Σ.Υ.Κ. αποτελούνται από μια βάση (φθοριοαλουμινο-πυριτική ύαλος) και από ένα οξύ (πολυακρυλικό οξύ). Τα δύο αυτά συστατικά αντιδρούν με μια τυπική αντίδραση εξουδετέρωσης, όπου με την παρουσία νερού επιτυγχάνεται η πήξη της μάζας του υλικού. Όλες οι Σ.Υ.Κ. είναι σε μορφή σκόνης-υγρού (powder-liquid)⁷.

Για να βελτιωθούν κάποια από τα μειονεκτήματα των Σ.Υ.Κ. και κυρίως η ευαισθησία τους στην υγρασία και οι φτωχές τους μηχανικές και αισθητικές ιδιότητες, το 1989 παρουσιάστηκαν οι Ρ.Τ.Υ.Κ. Τα υλικά αυτά είναι υβριδικά και προέρχονται από τις Σ.Υ.Κ., στις οποίες έχουν ενσωματωθεί κάποια στοιχεία ρητίνης⁷. Οι Ρ.Τ.Υ.Κ. έχουν καλύτερη αισθητική απόδοση και βελτιωμένες μηχανικές ιδιότητες έναντι των Σ.Υ.Κ.. Επιπλέον, έχουν αυξημένο χρόνο εργασίας, που συνδυάζεται με ταχεία πήξη του υλικού και είναι λιγότερο ευαίσθητες στην υγρασία και στην αφυδάτωση⁸. Παρουσιάζουν μειωμένη απελευθέρωση φθορίου σε σχέση με τις Σ.Υ.Κ., αν και σε ορισμένες μελέτες ορισμένα σκευάσματα παρουσιάζουν ανάλογη ή και μεγαλύτερη απελευθέρωση φθορίου από ορισμένα σκευάσματα των Σ.Υ.Κ.^{9,10}. Η χρήση τους ως εμφρακτικά υλικά ενδείκνυται σε εμφράξεις νεογιλών δοντιών και σε μικρές κοιλότητες μόνιμων δοντιών, που δε δέχονται υψηλές μασητικές φορτίσεις⁸.

Ένα υλικό, για να θεωρηθεί ότι ανήκει στην κατηγορία των Ρ.Τ.Υ.Κ., πρέπει στη σύνθεσή του να έχουν προστεθεί μεθακρυλικά μονομερή στο υδατικό διάλυμα του πολυακρυλικού οξέος και να περιέχει ένα βασικό τύπο υάλου υαλοϊονομερούς κόνιας, που να αντιδρούν μεταξύ τους σχηματίζοντας πολυκαρβοξυλικά άλατα (αντίδραση εξουδετέρωσης). Παράλληλα, πρέπει να γίνεται πολυμερισμός ενεργοποίησης με συστήματα φωτοκατάλυσης ή και χημικής κατάλυσης¹¹.

Οι σύνθετες ρητίνες αποτελούν εξέλιξη των ακρυλικών ρητινών, οι οποίες βασίστηκαν στη χημική αντίδραση του συστήματος μεθακρυλικού μεθυλίου (MMA) και πολυμεθακρυλικού μεθυλίου (PMMA). Τη μεγάλη επανάσταση στην τεχνολογία των ρητινών την έκανε ο Bowen το 1965 με τη δημιουργία του μονομερούς Bis-GMA (γλυκιδυλικός μεθακρυλικός εστέρας της δι-φαινόλης Α) ή ρητίνης

του Bowen. Από τότε μέχρι σήμερα υπήρξε σημαντική εξέλιξη στην τεχνολογία των σύνθετων ρητινών, που οδήγησε στην ανάπτυξη διάφορων βελτιωμένων τύπων τους¹².

Οι σύγχρονες σύνθετες ρητίνες έχουν πολύ ικανοποιητικές φυσικομηχανικές ιδιότητες, με αποτέλεσμα σήμερα να χρησιμοποιούνται σε όλες τις κατηγορίες των εμφράξεων και κυρίως των πρόσθιων δοντιών, λόγω της πολύ καλής αισθητικής τους. Δεν έχουν συγκολλητική ικανότητα με τους οδοντικούς ιστούς και η σύνδεσή τους επιτυγχάνεται μέσω των συνδετικών συστημάτων με μικρομηχανική συγκράτηση¹². Το μεγάλο τους μειονέκτημα είναι η συστολή που παρουσιάζουν κατά τον πολυμερισμό τους (1-5% κ.ο.)¹³, ενώ δεν απελευθερώνουν φθόριο κατά την αντίδραση πήξης τους και η τεχνική τοποθέτησής τους είναι μια πολύ ευαίσθητη και πολύπλοκη διαδικασία.

Οι σύνθετες ρητίνες είναι υλικά που αποτελούνται από δύο φάσεις. Η μια φάση είναι η οργανική μήτρα (organic matrix) και η δεύτερη φάση είναι οι ανόργανες ενισχυτικές ουσίες (reinforcing fillers), οι οποίες βρίσκονται σε διασπορά. Μεταξύ των δύο φάσεων υπάρχει μια μεσόφαση, ο συζευκτικός παράγοντας (coupling agent), ο οποίος είναι το μέσο σύνδεσής τους. Ταυτόχρονα, συνυπάρχουν και διάφορα άλλα χημικά στοιχεία σε πολύ μικρές ποσότητες, που έχουν συγκεκριμένους ρόλους, χωρίς όμως να εντάσσονται στα βασικά στοιχεία σύνθεσης των σύνθετων ρητινών¹⁴.

Για να αντιμετωπιστεί η δευτερογενής τερηδόνα που αναπτύσσεται στα όρια των εμφράξεων σύνθετης ρητίνης, εκτός από τις προσπάθειες για την εξάλειψη του περιεμφρακτικού χώρου, αναπτύχθηκε το ενδιαφέρον για την ενσωμάτωση φθορίου στα υλικά αυτά. Έτσι, εμφανίστηκαν οι φθοριούχες σύνθετες ρητίνες, στις οποίες το φθόριο που ενσωματώνεται μπορεί να είναι με τη μορφή ανόργανων αλάτων του, ευδιάλυτων υάλων ή οργανικών του ενώσεων¹⁵. Τα επίπεδα φθορίου που εκλύονται από τις φθοριούχες σύνθετες ρητίνες είναι κατά πολύ χαμηλότερα σε σχέση με τις υαλοϊονομερείς κόνιες και κατά λιγότερο χαμηλότερα από τα comonomers. Ο κυριότερος λόγος που συμβαίνει αυτό είναι η διαφορετική φύση της αντίδρασης πήξης των υλικών και η διαφορετική τους χημική σύσταση¹⁶.

Τα comonomers, είναι μια κατηγορία υλικών που συγγενεύουν περισσότερο με τις σύνθετες ρητίνες παρά με τις Σ.Υ.Κ. και εμφανίστηκαν πρώτη φορά το 1993 από την εταιρεία DeTrey/Dentsply. Τα υλικά αυτά προέκυψαν από την προσπάθεια παρασκευής υλικών, τα οποία να συνδυάζουν τα θετικά χαρακτηριστικά των σύνθετων ρητινών και των υαλοϊονομερών κονιών¹². Ο όρος COMPOMER προέρχεται από τη σύνθεση των λέξεων COMPOSITE και IONOMER. Οι μηχανικές ιδιότητες των comonomers είναι ανώτε-

ρες των P.T.Y.K., αλλά υπολείπονται έναντι των σύνθετων ρητινών. Τα comonomers ενδείκνυνται περισσότερο σε εμφράξεις νεογιλών δοντιών και σε μικρές κοιλότητες των μόνιμων, ιδιαίτερα σε ασθενείς με υψηλό τερηδονικό κίνδυνο¹⁷.

Τα comonomers είναι υλικά που φέρονται στο εμπόριο σε μορφή πάστας. Περιέχουν στην οργανική μήτρα τους μονομερή που χρησιμοποιούνται και στις σύνθετες ρητίνες, όπως τα Bis-GMA και UDMA και επιπλέον, περιέχουν μικρές ποσότητες όξινων μονομερών, όπως το TCB (προϊόν της αντίδρασης του τετρακαρβοξυλικού βουτανίου με δύο μόρια HEMA) και το DCDMA (κυκλοαλειφατικό δικαρβοξυλικό διμεθακρυλικό οξύ)¹⁸. Τα όξινα αυτά μονομερή έχουν τη δυνατότητα να αντιδρούν τόσο με τα μεθακρυλικά μονομερή, μέσω του πολυμερισμού των ελεύθερων ριζών, όσο και με τα κατιόντα που απελευθερώνονται από την ύαλο, με αντίδραση εξουδετέρωσης οξέος-βάσης. Η αντίδραση αυτή γίνεται απαραίτητα με την παρουσία νερού¹⁹. Οι ενισχυτικές ουσίες των comonomers δεν είναι ίδιες με αυτές των σύνθετων ρητινών (κυρίως βαριούχες ύαλοι), αλλά είναι ίδιες με αυτές που χρησιμοποιούνται στις υαλοϊονομερείς κονίες (φθοριο-αλουμινοπυριτικές ύαλοι), αλλά μικρότερου μεγέθους και έχουν υποστεί επεξεργασία μερικής σιλιανοποίησης για να συνδέονται με την οργανική μήτρα¹.

Για να βελτιωθεί ακόμη περισσότερο η αντιτερηδονική δράση των σύνθετων ρητινών που απελευθερώνουν φθόριο, εμφανίστηκε μια νέα κατηγορία σύνθετων ρητινών, που υποστηρίζεται ότι απελευθερώνουν περισσότερο φθόριο και ονομάστηκαν *giomers*²⁰. Ο όρος *GIOMER* προέρχεται από τα συνθετικά των λέξεων **G**lass **I**onomer και **polyMER**.

Τα υλικά αυτά περιέχουν ένα νέο τύπο ενισχυτικών ουσιών, ο οποίος προέρχεται από τα προϊόντα της οξεοβασικής αντίδρασης, μεταξύ φθοριο-αλουμινοπυριτικής ύαλου και πολυακρυλικού οξέος, παρουσία νερού. Οι ενισχυτικές ουσίες αυτές ονομάζονται ενισχυτικές ουσίες από προ-αντιδράσαντα συστατικά υαλοϊονομερούς κονίας (*Pre-Reacted Glass ionomer* ή *PRG fillers*)²⁰. Η νέα αυτή μορφή ενισχυτικών ουσιών επινοήθηκε από τους Roberts και συν. και με βάση τη νέα αυτή τεχνολογία αναπτύχθηκαν διάφορες σύνθετες ρητίνες και συνδυαστικοί παράγοντες, που είναι προϊόντα της εταιρείας Shofu Inc.

Παράγοντες που επηρεάζουν την απελευθέρωση φθορίου από τα φθοριούχα εμφρακτικά υλικά

Η απελευθέρωση του φθορίου από τα φθοριούχα εμφρακτικά υλικά είναι μια σύνθετη διαδικασία, η οποία εξαρτάται από ποικίλους παράγοντες, οι οποίοι επηρεάζουν κατά διαφορετικό τρόπο και βαθμό την διαδικασία αυτή. Οι παράγοντες αυτοί είναι η

χημική σύνθεση, η φύση και η δομή των υλικών, η αντίδραση πήξης των υλικών, η φύση και η χημική σύσταση του διαλύματος που βρίσκονται τα υλικά, η εκτεθειμένη επιφάνεια των υλικών και οι τεχνικές λέιανσής τους^{21,22}.

Οι διαφορές στη χημική σύνθεση, τη φύση και τη δομή μεταξύ των φθοριούχων εμφρακτικών υλικών, αλλά και των σκευασμάτων τους, που επηρεάζουν την απελευθέρωση του φθορίου αφορούν την ποσότητα και το είδος των φθοριούχων ενώσεων που περιέχουν, τον τύπο, το μέγεθος και την περιεκτικότητα των φθοριούχων ενισχυτικών ουσιών που περιέχουν, το βαθμό που είναι πορώδης η μάζα του υλικού, τον υδρόφιλο χαρακτήρα του και την οξύτητα του υλικού^{21,22}.

Οι διαφορές στην αντίδραση πήξης των φθοριούχων υλικών που επηρεάζουν την απελευθέρωση του φθορίου αφορούν τη φύση της χημικής αντίδρασης (χημικός πολυμερισμός, φωτοπολυμερισμός, διπλού τύπου πολυμερισμός, αντίδραση εξουδετέρωσης ή συνδυασμός τους) και τις συνθήκες της χημικής αντίδρασης (αναλογία σκόνης-υγρού ή πάστας-καταλύτη, ο τρόπος μίξης, ο χρόνος φωτοπολυμερισμού, ο βαθμός πολυμερισμού)¹.

Αυτοί οι παράγοντες, που αφορούν αποκλειστικά τα ίδια τα υλικά, είναι η κύρια αιτία του διαφορετικού βαθμού απελευθέρωσης φθορίου από αυτά. Έτσι, σε αυτούς τους παράγοντες οφείλεται η μεγαλύτερη απελευθέρωση του αθροιστικού ποσού (*cumulative release*) ιόντων φθορίου από τις Σ.Υ.Κ., που τις ακολουθούν οι P.T.Y.K. και στη συνέχεια με πολύ μικρότερα ποσά τα comonomers, τα *giomers* και τέλος οι φθοριούχες σύνθετες ρητίνες, που απελευθερώνουν τις μικρότερες ποσότητες φθορίου¹.

Το διάλυμα που τοποθετούνται τα υλικά σε εργαστηριακές μελέτες μέτρησης απελευθέρωσης φθορίου μπορεί να είναι απιονισμένο νερό, τεχνητό σάλιο ή ένα όξινο διάλυμα. Οι υψηλότερες τιμές απελευθέρωσης φθορίου, από ίδια υλικά, παρατηρούνται στα όξινα διαλύματα. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι το χαμηλό pH προκαλεί μεγαλύτερη διάλυση του υλικού, λόγω μετατόπισης της ιοντικής ισορροπίας προς αυτή την κατεύθυνση, με συνέπεια τη μεγαλύτερη απελευθέρωση ιόντων φθορίου^{23,24}.

Στο τεχνητό σάλιο παρατηρούνται οι χαμηλότερες τιμές απελευθέρωσης φθορίου, περίπου 17-25% χαμηλότερες από ότι στο απιονισμένο νερό. Αυτό οφείλεται στο ότι ο συντελεστής διάχυσης του, πλούσιου σε ιόντα, τεχνητού σάλιου με το υλικό είναι μικρότερος από αυτόν μεταξύ του απιονισμένου νερού και του υλικού. Επιπλέον, κάποια συστατικά του τεχνητού σάλιου σχηματίζουν επίκτητο υμένα στην επιφάνεια του υλικού, εμποδίζοντας ακόμα περισσότερο την απελευθέρωση φθορίου, μειώνοντας μέχρι και 15-20% την ποσότητα που απελευθερώνεται²⁵.

Στο ανθρώπινο σάλιο παρατηρείται αυξημένη απελευθέρωση φθορίου από τα φθοριούχα εμφρακτικά υλικά σε σχέση με το τεχνητό σάλιο, κάτι που οφείλεται στη δράση των σιαλικών ενζύμων, όπως της σιαλικής εστεράσης. Επιπλέον, στις στοματικές συνθήκες οι εναλλαγές του pH του σάλιου, η παρουσία των ιόντων του σάλιου, οι θερμικές εναλλαγές, οι παρουσία σιαλικών πρωτεϊνών που σχηματίζουν τον επίκτητο υμένα, επηρεάζουν σε διάφορο βαθμό την απελευθέρωση φθορίου από τα εμφρακτικά υλικά^{26,27}.

Η έκταση της επιφάνειας των φθοριούχων εμφρακτικών υλικών που εκτίθεται στο στοματικό περιβάλλον είναι σημαντική, για το μέγεθος της απελευθέρωσης φθορίου από αυτά, ενώ η μάζα τους δεν παίζει τόσο ρόλο²⁸. Ο σχηματισμός του επίκτητου υμένα και της μικροβιακής πλάκας στην επιφάνεια του εμφρακτικού υλικού μειώνει κατά μικρό βαθμό την απελευθέρωση φθορίου^{25,28}. Η εφαρμογή συνδετικών παραγόντων και βερνικιών στην επιφάνεια των εμφρακτικών υλικών, εμποδίζει την απελευθέρωση φθορίου, με αποτέλεσμα να μειώνεται 1,5-4 φορές^{29,30}.

Η απομάκρυνση του εξωτερικού στρώματος των εμφρακτικών υλικών, κατά τη διαδικασία της λείανσης αυτών με μηχανικά μέσα (εγγλυφίδες, ελαστικά, τροχολιθάκια), αυξάνει το ποσό του φθορίου που απελευθερώνεται από την επιφάνειά τους. Το φαινόμενο αυτό εξηγείται από το ότι με την απομάκρυνση της εξωτερικής επιφάνειας του υλικού, εκτίθενται στο περιβάλλον βαθύτερα στρώματά του, στα οποία δεν έχουν εξαντληθεί τα αποθέματα του φθορίου, τα οποία και απελευθερώνονται²⁹. Οι διαδικασίες της λείανσης και του βουρτσίσματος των δοντιών φαίνεται ότι δεν επηρεάζουν την απελευθέρωση φθορίου από τα εμφρακτικά υλικά³¹.

Η επαναπρόσληψη και η επαναπελευθέρωση φθορίου από τα φθοριούχα εμφρακτικά υλικά

Η αντιτερηδονική δράση των φθοριούχων εμφρακτικών υλικών αποδίδεται στη συνεχή απελευθέρωση φθορίου. Επειδή, όμως, η ποσότητα φθορίου που απελευθερώνεται με την πάροδο του χρόνου ελαττώνεται, έχει προταθεί να αξιοποιηθεί η ιδιότητα των υλικών να επαναφορτίζονται με φθόριο, ώστε να διατηρείται μια συνεχής απελευθέρωση ιόντων φθορίου¹.

Η επαναφόρτιση των φθοριούχων εμφρακτικών υλικών με ιόντα φθορίου, στην κλινική πράξη, μπορεί να πραγματοποιηθεί με την καθημερινή χρήση από τον ασθενή, διάφορων φθοριούχων σκευασμάτων (π.χ. φθοριούχα διαλύματα, φθοριούχες οδοντόκρεμες) ή, αν κρίνεται απαραίτητο από τον οδοντίατρο, με τη διαδικασία της φθορίωσης (π.χ. φθοριούχα gel, φθοριούχα βερνίκια), σε τακτά χρονικά δια-

στήματα, ανάλογα με τον τερηδονικό κίνδυνο¹.

Η δυνατότητα ενός εμφρακτικού υλικού να λειτουργεί ως αποθήκη φθορίου, δηλαδή να επαναφορτίζεται με ιόντα φθορίου (recharge ability) και να τα επαναπελευθερώνει, εξαρτάται κυρίως: α) από τον τύπο και τη διαπερατότητα του υλικού³², β) από τη συχνότητα της έκθεσης του υλικού σε φθόριο³³, γ) από το είδος, τη μορφή και την περιεκτικότητα του υλικού φθορίωσης³⁴ και δ) από το είδος και το pH του διαλύματος που βρίσκονται τα υλικά³⁵.

Η επαναπελευθέρωση φθορίου, μετά την εφαρμογή ενός φθοριούχου παράγοντα, μπορεί να γίνει με διάχυση των ελεύθερων ιόντων φθορίου που έχουν συγκρατηθεί είτε στην επιφάνεια της εμφραξης είτε στους πόρους της. Το φθόριο που βρίσκεται συνδεδεμένο στην επιφάνεια του εμφρακτικού υλικού αποσπάται πιο εύκολα με την επίδραση οξέος. Επίσης, το ελεύθερο φθόριο, που έχει απορροφηθεί από τη μάζα του υλικού, συμμετέχει στην αύξηση της ποσότητας που επαναπελευθερώνεται³⁴.

Οι Σ.Υ.Κ. είναι τα εμφρακτικά υλικά που έχουν σε μεγαλύτερο βαθμό την ιδιότητα να λειτουργούν ως αποθήκες φθορίου. Αυτό οφείλεται στη χημική τους σύνθεση, την πιο υδρόφιλη φύση τους, τη μεγαλύτερη διαπερατότητά τους και την πιο πορώδη δομή τους, στα εσωτερικά στρώματα των οποίων μπορεί να διεισδύσουν πιο εύκολα τα ιόντα φθορίου. Αντίθετα, στα πολυμερή υλικά η συγκράτηση των ιόντων φθορίου περιορίζεται κυρίως στην εξωτερική επιφάνειά τους^{35,36}. Τα υλικά με μεγαλύτερη αρχική απελευθέρωση φθορίου έχουν μεγαλύτερη δυνατότητα να επαναπελευθερώνουν φθόριο^{15,36}, όμως, η επαναπελευθέρωση αυτή δεν φτάνει την αρχική απελευθέρωση^{37,38}. Η επαναπελευθέρωση φθορίου, ύστερα από εφαρμογή φθοριούχου διαλύματος, σε όλες τις κατηγορίες φθοριούχων εμφρακτικών υλικών, είναι αυξημένη ύστερα από 24 ώρες, ελαττώνεται ύστερα από μερικές ημέρες και φτάνει στα επίπεδα της προ της εφαρμογής του φθοριούχου διαλύματος^{37,38}.

Σε μια μελέτη in vitro διάρκειας δύο χρόνων έγιναν 13 εφαρμογές διαλύματος φθορίου 500 ppm σε Σ.Υ.Κ., comromers και φθοριούχες σύνθετες ρητίνες. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι Σ.Υ.Κ. είχαν τη δυνατότητα να απελευθερώνουν περισσότερο φθόριο (3-12 $\mu\text{gF}/\text{cm}^2$) τόσο από τα comromers (3,6-5 $\mu\text{gF}/\text{cm}^2$) όσο και από τις φθοριούχες σύνθετες ρητίνες (0,2-0,3 $\mu\text{gF}/\text{cm}^2$). Οι τιμές είναι μια ώρα μετά την εφαρμογή του φθοριούχου παράγοντα³⁶.

Έχει βρεθεί ότι η επαναφόρτιση και η επαναπελευθέρωση φθορίου από τα υλικά είναι πιο αποτελεσματική με την αύξηση της περιεκτικότητας σε φθόριο του φθοριούχου παράγοντα³², με την αύξηση της συχνότητας των εφαρμογών του³³ και κάτω από συνθήκες όξινου περιβάλλοντος³⁵.

Σε ό,τι αφορά το είδος και τη μορφή του φθορι-

ούχου παράγοντα, που χρησιμοποιείται για την επαναφόρτιση των υλικών, η μορφή γέλης (gel) φαίνεται ότι είναι περισσότερο αποτελεσματική από τα διαλύματα¹⁰ και ο φθοριούχος παράγοντας με όξινο φθοριοφωσφορικό νάτριο (1.23% APF) είναι πιο αποτελεσματικός από αυτούς με φθοριούχο νάτριο (1% NaF), φθοριούχο ασβέστιο (0.001% CaF₂) και φθοριούχο κασσίτερο (4% SnF₂)^{34,39,40}. Σε μια μελέτη *in vitro*⁴⁰, όπου χρησιμοποιήθηκαν φθοριούχα διαλύματα και gel, η επαναπελευθέρωση φθορίου από Σ.Υ.Κ. ήταν 10-65 ppm για το 1.23% APF, 0,5-3 ppm για το 1% NaF και 2-17 ppm για το 4% SnF₂.

Στο στοματικό περιβάλλον η πρόσληψη ιόντων φθορίου από τα εμφρακτικά υλικά και η επαναπελευθέρωσή τους στη συνέχεια, μπορεί να επηρεασθεί από το σάλιο και τη μικροβιακή πλάκα. Το μεγαλύτερο ιξώδες του σάλιου μπορεί να ελαττώσει τη διάχυση των ιόντων φθορίου μεταξύ του εμφρακτικού υλικού και του στοματικού περιβάλλοντος. Επίσης, η ιοντική σύνθεση του σάλιου μπορεί να επηρεάσει την απελευθέρωση και την επαναπρόσληψη ιόντων φθορίου από τα υλικά. Επιπλέον, ο σχηματισμός του σιαλικού επίκτητου υμένα μπορεί να αποτελέσει φραγμό στη διαδικασία επαναπρόσληψης ιόντων φθορίου^{41,42}.

Έχει βρεθεί ότι η τοποθέτηση δοκιμών Σ.Υ.Κ. σε ανθρώπινο σάλιο για 2 ώρες ελάττωσε την πρόσληψη φθορίου από αυτά κατά 50%, ενώ η τοποθέτησή τους για 24 ώρες την ελάττωσε κατά 74%⁴². Επίσης, ο επίκτητος σιαλικός υμένας, που σχηματίστηκε ύστερα από παραμονή των δοκιμών σε ανθρώπινο σάλιο για μια εβδομάδα, ελάττωσε την πρόσληψη του φθορίου κατά 49% και προκάλεσε καθυστέρηση στην επαναπελευθέρωσή του⁴¹.

H επίδραση των φθοριούχων εμφρακτικών υλικών στην ανάπτυξη της δευτερογενούς τερηδόνας

Σχεδόν όλες οι *in vitro* έρευνες, που μελετούν την επίδραση των φθοριούχων εμφρακτικών υλικών στην ανάπτυξη της δευτερογενούς τερηδόνας, έχουν καταλήξει στο συμπέρασμα ότι τα φθοριούχα εμφρακτικά υλικά είναι αποτελεσματικά στην ελάττωση της δευτερογενούς τερηδόνας. Αντίθετα, οι μελέτες *in vivo* εμφάνισαν αντιφατικά αποτελέσματα, τα οποία δεν επιτρέπουν τη σαφή εκτίμηση για την αντιτερηδονική ιδιότητα των φθοριούχων εμφρακτικών υλικών.

Τα *in vitro* μοντέλα τεχνητής τερηδόνας δεν μπορούν να προσομοιάσουν απόλυτα τις στοματικές συνθήκες, που οδηγούν στο σχηματισμό της τερηδόνας. Οι συνεχείς εναλλαγές της θερμοκρασίας, του pH, της έκκρισης του σάλιου και των άλλων στοματικών υγρών, η παρουσία και η σύνθεση της μικροβιακής πλάκας, η ποικιλία στη σύνθεση των οδοντικών επιφανειών, η διατροφή του ατόμου, η

σύνθεση του σάλιου, η αναλογία οδοντικών επιφανειών/στοματικών υγρών και ο βαθμός διαβροχής και κορεσμού των οδοντικών επιφανειών από αυτά, είναι οι κυριότεροι από τους παράγοντες, στους οποίους οφείλεται η πολυπλοκότητα του στοματικού περιβάλλοντος^{43,44}.

Οι *in vivo* έρευνες προσεγγίζουν σε μεγαλύτερο βαθμό τις πραγματικές κλινικές συνθήκες. Είναι, όμως, πολύ χρονοβόρες, πολύπλοκες, έχουν μεγάλο κόστος και παρουσιάζονται πολλοί αστάθμητοι παράγοντες, αφού απαιτείται άριστη συνεργασία με τους ασθενείς που συμμετέχουν στις μελέτες.

Οι *in situ* μελέτες θεωρούνται κάτι ενδιάμεσο ανάμεσα στις *in vivo* και στις *in vitro*, καθώς οι κλινικές συνθήκες που σχετίζονται με την ανάπτυξη της τερηδόνας μπορούν να ελέγχονται έως ένα βαθμό από τον ερευνητή. Τα αποτελέσματα μελετών *in situ*, οι οποίες αφορούσαν την επίδραση των φθοριούχων εμφρακτικών υλικών στην αναστολή τερηδονικών αλλοιώσεων, έδειξαν ότι τα φθοριούχα εμφρακτικά υλικά και κυρίως αυτά που απελευθερώνουν μεγαλύτερες ποσότητες φθορίου (υαλοϊονομερείς κονίες), παρουσίασαν την ικανότητα να περιορίζουν το σχηματισμό των τερηδονικών αλλοιώσεων⁴⁵⁻⁴⁷.

A. Μελέτες *in vitro*

Σχεδόν όλα τα αποτελέσματα των *in vitro* μελετών, όπως προαναφέρθηκε, καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι τα φθοριούχα εμφρακτικά υλικά είναι αποτελεσματικά στην ελάττωση της δευτερογενούς τερηδόνας. Επιπλέον, τα υλικά που απελευθερώνουν μεγαλύτερες ποσότητες φθορίου (υαλοϊονομερείς κονίες) περιορίζουν σε μεγαλύτερο βαθμό την ανάπτυξη της δευτερογενούς τερηδόνας. Πιο συγκεκριμένα έχουν πραγματοποιηθεί πολλές *in vitro* μελέτες, στις οποίες οι εμφράξεις με Σ.Υ.Κ. περιόρισαν σε μεγαλύτερο βαθμό την ανάπτυξη δευτερογενούς τερηδόνας σε σχέση με άλλα φθοριούχα και μη φθοριούχα εμφρακτικά υλικά, κάτι που αποδόθηκε από τους ερευνητές στη μεγάλη απελευθέρωση φθορίου που παρουσιάζουν⁴⁸⁻⁵⁴.

Οι Okida και συν (2008)⁵² μελέτησαν την αναστολή της απασβεσίωσης της αδαμαντίνης, γύρω από εμφράξεις μιας Σ.Υ.Κ. (Chelon Fil), μιας P.T.Y.K. (Fuji II LC), ενός compomer (Dyract AP), μιας φθοριούχου σύνθετης ρητίνης (Tetric Ceram), ενός αμαλγάματος (GS-80) και μιας μη φθοριούχου σύνθετης ρητίνης (Spectrum-TRP), υπό την επίδραση τερηδονικών συνθηκών. Το μοντέλο τεχνητής τερηδόνας που χρησιμοποιήθηκε ήταν της εναλλαγής του pH (pH-cycling) και η παρατήρηση των τερηδονικών αλλοιώσεων έγινε με τη χρήση μικροσκοπίου πολωμένου φωτός (PLM). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το μικρότερο βάθος τερηδονικών αλλοιώσεων παρουσιάστηκε γύρω από τις εμφράξεις της Σ.Υ.Κ. και ακολούθησαν

οι εμφράξεις της P.T.Y.K., του compomer και του αμαλγάματος, ενώ οι σύνθετες ρητίνες παρουσίασαν το μεγαλύτερο βάθος.

Τα αποτελέσματα ανάλογων *in vitro* μελετών, έδειξαν ότι οι P.T.Y.K. περιορίζουν σε μεγαλύτερο βαθμό την ανάπτυξη της δευτερογενούς τερηδόνας σε σχέση με άλλα φθοριούχα και μη φθοριούχα πολυμερή υλικά, λόγω της μεγαλύτερης ποσότητας φθορίου που απελευθερώνουν^{48,52,54-58}. Οι Torii και συν (2001)⁵⁶ μελέτησαν την αναστολή της απασβεστίωσης της οδοντίνης γύρω από εμφράξεις τριών P.T.Y.K. (Fuji II LC, Vitremer, Photac-Fil Aplicap), τριών compomer (Dyract AP, Ionosit Fil, Compoglass F) και δύο φθοριούχων σύνθετων ρητινών (Heliomolar radiopaque, Degufill mineral), υπό την επίδραση τεχνητών τερηδονικών συνθηκών. Το μοντέλο τεχνητής τερηδόνας που εφαρμόστηκε ήταν το μοντέλο παραγωγής οξέων από βακτήρια (bacterially generated acids), ενώ η εκτίμηση των τερηδονικών αλλοιώσεων έγινε με μικροακτινογραφίες (microradiography). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι γύρω από τις εμφράξεις με τις P.T.Y.K. οι τερηδονικές αλλοιώσεις που σχηματίστηκαν είχαν το μικρότερο βάθος και ακολούθησαν τα compomer και στη συνέχεια οι φθοριούχες σύνθετες ρητίνες.

Σε πολλές μελέτες *in vitro* βρέθηκε ότι γύρω από εμφράξεις με compomer ελαττώθηκε σημαντικά το βάθος των τερηδονικών αλλοιώσεων, σε σύγκριση με εμφράξεις μη φθοριούχων εμφρακτικών υλικών^{51-53,56,57,59,60}.

Οι Paradella και συν (2009)⁵³ μελέτησαν την αναστολή της απασβεστίωσης της αδαμαντίνης γύρω από εμφράξεις μιας Σ.Υ.Κ. (GC Fuji IX GP), μιας P.T.Y.K. (Vitremer), ενός compomer (Freedom) και μιας μη φθοριούχου σύνθετης ρητίνης (Filtek Z250), υπό την επίδραση τεχνητών τερηδονικών συνθηκών. Τα μοντέλα τεχνητής τερηδόνας που εφαρμόστηκαν ήταν το μοντέλο εναλλαγής του pH (pH-cycling) και το μοντέλο παραγωγής οξέων από βακτήρια (bacterially generated acids), ενώ η εκτίμηση των τερηδονικών αλλοιώσεων έγινε με τη χρήση μικροσκοπίου πολωμένου φωτός (PLM), ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης (SEM) και με τη μέθοδο EDS (energy dispersive X-ray analysis). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ανεξάρτητα από την τεχνική που χρησιμοποιήθηκε, γύρω από τις εμφράξεις με τη Σ.Υ.Κ. εμφανίστηκε η μικρότερη απασβεστίωση της αδαμαντίνης και ακολούθησαν κατά σειρά οι εμφράξεις της P.T.Y.K., του compomer και της μη φθοριούχου σύνθετης ρητίνης.

Σε άλλες *in vitro* μελέτες βρέθηκε ότι γύρω από εμφράξεις με giomer ελαττώθηκε σημαντικά το βάθος των τερηδονικών αλλοιώσεων, σε σύγκριση με εμφράξεις μη φθοριούχων εμφρακτικών υλικών^{57,61,62}. Οι Gonzalez και συν (2004)⁵⁷ μελέτησαν την αναστολή της απασβεστίωσης της αδαμαντίνης

γύρω από εμφράξεις μιας Σ.Υ.Κ. (Fuji II), μιας P.T.Y.K. (Fuji II LC), ενός giomer (Reactmer Past), ενός compomer (Dyract AP) και μιας μη φθοριούχου σύνθετης ρητίνης (Spectrum TPH), υπό την επίδραση τεχνητών τερηδονικών συνθηκών. Το μοντέλο τεχνητής τερηδόνας που εφαρμόστηκε ήταν το μοντέλο εναλλαγής του pH (pH-cycling), ενώ η εκτίμηση των τερηδονικών αλλοιώσεων έγινε με μικροσκόπιο πολωμένου φωτός (PLM). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι γύρω από τις εμφράξεις με τη Σ.Υ.Κ., τη P.T.Y.K. και το giomer δεν υπήρχε στατιστικά σημαντική διαφορά στο βάθος των τερηδονικών αλλοιώσεων, αλλά ήταν πιο μικρό σε σύγκριση με τις εμφράξεις του compomer και της μη φθοριούχου σύνθετης ρητίνης.

Σε *in vitro* μελέτες βρέθηκε ότι γύρω από εμφράξεις με φθοριούχες σύνθετες ρητίνες ελαττώθηκε στατιστικά σημαντικά το βάθος των τερηδονικών αλλοιώσεων, σε σύγκριση με εμφράξεις μη φθοριούχων εμφρακτικών υλικών^{48,52,56,63,64}. Οι Takeuti και συν (2007)⁶⁴ μελέτησαν την αναστολή της απασβεστίωσης της αδαμαντίνης γύρω από εμφράξεις μιας Σ.Υ.Κ. (GC Fuji IX GP), μιας P.T.Y.K. (Vitremer), ενός compomer (Dyract AP) μιας φθοριούχου σύνθετης ρητίνης (Tetric Ceram) και μιας μη φθοριούχου σύνθετης ρητίνης (Filtek Z250), υπό την επίδραση τεχνητών τερηδονικών συνθηκών. Εφαρμόστηκαν δύο μοντέλα τεχνητής τερηδόνας, το μοντέλο του όξινου ζελέ (acid gel) και της εναλλαγής του pH (pH-cycling), ενώ η εκτίμηση των τερηδονικών αλλοιώσεων έγινε με την παρατήρηση με μικροσκόπιο πολωμένου φωτός (PLM) και με την τεχνική του υπολογισμού της μικροσκληρότητας (microhardness). Τα αποτελέσματα από την παρατήρηση με το PLM έδειξαν ότι το μικρότερο βάθος τερηδονικών αλλοιώσεων παρουσιάστηκε γύρω από τις εμφράξεις με τη Σ.Υ.Κ. και τη P.T.Y.K., χωρίς να έχουν στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ τους, ακολούθησαν οι εμφράξεις της φθοριούχου σύνθετης ρητίνης, ενώ το μεγαλύτερο βάθος παρουσιάστηκε στις εμφράξεις του compomer και της μη φθοριούχου σύνθετης ρητίνης, που επίσης δεν παρουσίασαν στατιστικά σημαντική διαφορά.

Έχουν πραγματοποιηθεί πολλές *in vitro* μελέτες με σκοπό τον προσδιορισμό της ιδανικής συγκέντρωσης ιόντων φθορίου που απαιτείται για την πλήρη αναστολή της εξέλιξης της δευτερογενούς τερηδόνας. Τα αποτελέσματα τέτοιων μελετών έδειξαν ότι η συγκέντρωση ιόντων φθορίου στον περιεμφρακτικό χώρο μεταξύ 5-80 ppm, ίσως είναι η πιο ιδανική για την πρόληψη της δευτερογενούς τερηδόνας^{65,66}. Σε άλλη μελέτη βρέθηκε ότι συγκέντρωση ιόντων φθορίου στην αδαμαντίνη γύρω στα 3 ppm αποτελεί το όριο έναρξης της επανασβεστίωσης της, ενώ σε μικρότερες συγκεντρώσεις δεν επιτυγχάνεται αναστολή της απασβεστίωσης της⁶⁷.

Έχει βρεθεί ότι σε υψηλές συγκεντρώσεις

ιόντων φθορίου η επανασβεστίωση που πραγματοποιείται αναστέλλει εντελώς την ανάπτυξη της δευτερογενούς τερηδόνας⁶⁸. Η τιμή αυτή κυμαίνεται στα 200-300 μg/cm² για χρονική διάρκεια ενός μήνα. Δυστυχώς, η τιμή αυτή είναι 40-50 φορές μεγαλύτερη από το ρυθμό απελευθέρωσης ιόντων φθορίου των φθοριούχων σύνθετων ρητίνων, που κυκλοφορούν⁶⁶.

Αποτελέσματα *in vitro* μελετών έδειξαν ότι με την αύξηση της απόστασης από τα όρια εμφράξεων φθοριούχων υλικών, αυξανόταν και το βάθος της τερηδονικής αλλοίωσης που σχηματιζόταν. Αυτό φαίνεται να οφείλεται στη μεγαλύτερη ποσότητα ιόντων φθορίου που διαχέονται και προσλαμβάνονται από τους οδοντικούς ιστούς, που γειτνιάζουν στα φθοριούχα εμφρακτικά υλικά^{54,58,63,69,70}.

Οι Tantbirojn και συν (1997)⁶⁹ μελέτησαν την επίδραση μίας Σ.Υ.Κ. και ενός μη φθοριούχου εμφρακτικού υλικού στο σχηματισμό τερηδονικών αλλοιώσεων στην αδαμαντίνη γύρω από τις εμφράξεις τους. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι εμφράξεις με την Σ.Υ.Κ. προκάλεσαν ελάττωση της απασβεστίωσης της αδαμαντίνης κατά 80% περίπου, σε απόσταση 0.22 mm από τα όρια των εμφράξεων και 37% περίπου σε απόσταση 7 mm.

Οι Glasspoole και συν (2001)⁶³ μελέτησαν την ελάττωση της απασβεστίωσης της αδαμαντίνης, που προκαλείται από εμφράξεις με Σ.Υ.Κ. και φθοριούχες σύνθετες ρητίνες. Οι τερηδονικές αλλοιώσεις μετρήθηκαν με τη βοήθεια μικροσκοπίου πολωμένου φωτός σε απόσταση μεταξύ 100-800 μm από τα όρια των εμφράξεων. Παρατηρήθηκε ότι όλα τα υλικά σε όλες τις αποστάσεις προκάλεσαν ελάττωση της απασβεστίωσης. Ο βαθμός προστασίας ήταν μεγαλύτερος κοντά στο εμφρακτικό υλικό και το βάθος της τερηδονικής αλλοίωσης αυξανόταν με την απόσταση και αντιστρόφως ανάλογα με την ποσότητα των ιόντων φθορίου που απελευθερώνονται από το υλικό.

Η ποσότητα των ιόντων φθορίου που περιέχεται στα εμφρακτικά υλικά παίζει σημαντικό ρόλο στις αντιτερηδονικές ιδιότητες των υλικών⁷¹. Σε μελέτη που έγιναν εμφράξεις με φθοριούχες σύνθετες ρητίνες, βρέθηκε ότι η ανάπτυξη της απασβεστίωσης της αδαμαντίνης στα όρια των εμφράξεων με σύνθετες ρητίνες που περιείχαν 33% φθοριούχες ενισχυτικές ουσίες, ήταν μικρότερη από αυτή που παρατηρήθηκε στα όρια εμφράξεων που περιείχαν 17%. Και στις δύο περιπτώσεις η απασβεστίωση στα όρια της αδαμαντίνης ήταν μικρότερη από ό,τι στα όρια μη φθοριούχων εμφρακτικών υλικών⁷².

B. Μελέτες *in vivo*

Οι κλινικές μελέτες διάρκειας μεγαλύτερης των

3 ετών, στις οποίες εκτιμήθηκε η δευτερογενής τερηδόνα στα όρια φθοριούχων και μη φθοριούχων εμφρακτικών υλικών, είναι σχετικά λίγες και τα αποτελέσματά τους αντικρουόμενα. Σε ορισμένες κλινικές μελέτες τα αποτελέσματά τους δείχνουν ότι το είδος των εμφρακτικών υλικών και η ποσότητα φθορίου που απελευθερώνουν δεν επηρεάζουν την εξέλιξη της δευτερογενούς τερηδόνας⁷³⁻⁷⁹, ενώ σε άλλες κλινικές μελέτες φαίνεται να επηρεάζεται η ανάπτυξη της δευτερογενούς τερηδόνας από αυτούς τους παράγοντες⁸⁰⁻⁸⁷.

Για να εκτιμηθεί κλινικά η επίπτωση της απελευθέρωσης φθορίου στην ανάπτυξη της δευτερογενούς τερηδόνας, οι μελέτες που χρησιμοποιούν διάφορα υλικά στο ίδιο στόμα (*split-mouth*) φαίνεται ότι είναι περισσότερο αξιόπιστες από μελέτες που μελετούν ένα υλικό σε κάθε ασθενή. Στις μελέτες *split-mouth* το υλικό ελέγχου και ο μάρτυρας υφίστανται στο στόμα τις ίδιες συνθήκες και την ίδια τερηδονική επίδραση.

Οι Paragianoulis και συν (2002)⁷⁶, σε μια μελέτη όπου έγινε σύγκριση της αντιτερηδονικής δράσης Σ.Υ.Κ. με μία μη φθοριούχο σύνθετη ρητίνη *in vitro* και *in vivo*, παρατήρησαν ότι ενώ οι Σ.Υ.Κ. είχαν αντιτερηδονική δράση *in vitro*, κάτω από *in vivo* συνθήκες δε διαπιστώθηκε αντιτερηδονική δράση.

Αντίθετα με τις κλινικές μελέτες, όπου δεν βρέθηκε διαφορά στην αντιτερηδονική ιδιότητα μεταξύ των εμφρακτικών υλικών, υπάρχουν κλινικές μελέτες στις οποίες τα αποτελέσματά τους δείχνουν ότι ο περιορισμός της ανάπτυξης δευτερογενούς τερηδόνας εξαρτάται από την ποσότητα και το ρυθμό απελευθέρωσης φθορίου από τα εμφρακτικά υλικά.

Οι Welbury και συν (1991)⁸⁰, σε κλινική μελέτη διάρκειας 5 ετών, όπου έγινε μελέτη εμφράξεων Σ.Υ.Κ. και αμαλγάματος, σε νεογιλούς γομφίους, παρατήρησαν ότι οι εμφράξεις της Σ.Υ.Κ. εμφάνισαν μικρότερο χρόνο ζωής, μεγαλύτερη απώλεια της ανατομικότητας και περισσότερες οριακές βλάβες, αλλά εμφάνισαν μεγαλύτερο περιορισμό ανάπτυξης δευτερογενούς τερηδόνας σε σύγκριση με τις εμφράξεις του αμαλγάματος.

Οι Donly και συν (1999)⁸¹, σε κλινική έρευνα διάρκειας 3 ετών, μελέτησαν τις αντιτερηδονικές ιδιότητες εμφράξεων Ιης ομάδας μιας Ρ.Τ.Υ.Κ. και ενός αμαλγάματος, σε νεογιλούς γομφίους. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι εμφράξεις της Ρ.Τ.Υ.Κ. παρουσίασαν μεγαλύτερο περιορισμό ανάπτυξης δευτερογενούς τερηδόνας. Ενώ, κατά την κλινική εξέταση δε βρέθηκε διαφορά μεταξύ των εμφράξεων των υλικών, κατά την εξέταση τομών των δοντιών σε μικροσκόπιο πολωμένου φωτός, βρέθηκε σημαντικά μικρότερη απασβεστίωση στα όρια των εμφράξεων της Ρ.Τ.Υ.Κ.

Οι Mandari και συν (2003)⁸⁶, σε κλινική μελέτη διάρκειας 6 ετών, που μελετήθηκαν εμφράξεις Ιης

ομάδας μιας Σ.Υ.Κ. και ενός αμαλγάματος, σε μόνιμους γομφίους, παρατήρησαν σημαντικά μεγαλύτερη ανάπτυξη δευτερογενούς τερηδόνας στις εμφράξεις αμαλγάματος (περίπου 10%) σε σύγκριση με τις εμφράξεις Σ.Υ.Κ..

Γ. Μελέτες *in situ*

Τα αποτελέσματα μελετών *in situ*, οι οποίες αφορούσαν την επίδραση των φθοριούχων υλικών στην αναστολή τερηδονικών αλλοιώσεων, έδειξαν ότι τα φθοριούχα υλικά και κυρίως αυτά που απελευθερώνουν μεγαλύτερες ποσότητες φθορίου (υαλοϊονομερείς κονίες), παρουσίασαν την ικανότητα να περιορίζουν το σχηματισμό των τερηδονικών αλλοιώσεων⁴⁵⁻⁴⁷.

Οι Cenci και συν (2008)⁴⁶ μελέτησαν *in situ* την επίδραση στην αναστολή της δευτερογενούς τερηδόνας εμφράξεων μιας Ρ.Τ.Υ.Κ. και μιας μη φθοριούχου σύνθετης ρητίνης. Οι εμφράξεις πραγματοποιήθηκαν σε δοκίμια αδαμαντίνης και οδοντίνης, τα οποία τοποθετήθηκαν σε ειδικές ακρυλικές συσκευές, που τοποθετούνταν στην υπερώα των εθελοντών. Η τεχνητή τερηδόνα προκλήθηκε από τη μικροβιακή πλάκα που σχηματίστηκε στα δοκίμια με την εφαρμογή υδατικού διαλύματος 20% σακχαρόζης, 10 φορές την ημέρα, έξω από το στόμα των εθελοντών. Ο έλεγχος των τερηδονικών αλλοιώσεων έγινε με μικροακτινογραφίες (microradiography). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι στα δοκίμια με τις εμφράξεις της Ρ.Τ.Υ.Κ. ελαττώθηκε σημαντικά ο σχηματισμός των τερηδονικών αλλοιώσεων σε σχέση με τα δοκίμια της μη φθοριούχου σύνθετης ρητίνης.

Οι Paradella και συν (2008)⁴⁷ μελέτησαν *in situ* την αναστολή της δευτερογενούς τερηδόνας γύρω από εμφράξεις μιας Σ.Υ.Κ. (Fuji IX GP), μιας Ρ.Τ.Υ.Κ. (Vitremer), ενός compomer (Freedom) και μιας μη φθοριούχου σύνθετης ρητίνης (Filtek Z250). Οι εμφράξεις έγιναν σε δοκίμια αδαμαντίνης και τοποθετήθηκαν σε ειδικές ακρυλικές συσκευές, που τοποθετούνταν στην υπερώα των εθελοντών. Η τεχνητή τερηδόνα προκλήθηκε με την εφαρμογή διαλύματος 20% σακχαρόζης στα δοκίμια, 8 φορές την ημέρα σε τακτά χρονικά διαστήματα, από τους εθελοντές, εξωστοματικά. Ο έλεγχος των τερηδονικών αλλοιώσεων έγινε με παρατήρηση με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM), με μικροσκόπιο πολωμένου φωτός (PLM) και με τη μέθοδο EDS (energy dispersive X-ray analysis). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα δοκίμια με τις εμφράξεις της Σ.Υ.Κ. και της Ρ.Τ.Υ.Κ. ελάττωσαν σε μεγαλύτερο βαθμό το σχηματισμό δευτερογενούς τερηδόνας, σε σχέση με τα δοκίμια με τις εμφράξεις με το compomer και τη μη φθοριούχο σύνθετη ρητίνη.

Συμπεράσματα

Σύμφωνα με την παραπάνω ανάλυση των δεδομένων της σύγχρονης βιβλιογραφίας, σχετικά με την επίδραση των φθοριούχων αισθητικών εμφρακτικών υλικών στην ανάπτυξη της δευτερογενούς τερηδόνας, φαίνεται πως η χρήση τους και ιδιαίτερα των υαλοϊονομερών κονιών, που απελευθερώνουν τις μεγαλύτερες ποσότητες φθορίου, επηρεάζουν ως έναν βαθμό, υπό προϋποθέσεις, την εξέλιξη της δευτερογενούς τερηδόνας.

Τα φθοριούχα εμφρακτικά υλικά δεν προλαμβάνουν το σχηματισμό της δευτερογενούς τερηδόνας, αλλά η χρήση τους πρέπει να θεωρηθεί ως ένα μέρος ενός ολοκληρωμένου προληπτικού προγράμματος προστασίας από την τερηδόνα.

Τα αντικρουόμενα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στις κλινικές μελέτες σχετικά με την αποτελεσματικότητα των φθοριούχων εμφρακτικών υλικών, ενισχύουν την ανάγκη για περαιτέρω έρευνα για τη διασαφήνιση της χρησιμότητάς τους.

Βιβλιογραφία

1. Wiegand A, Buchalla W, Attin T. Review on fluoride-releasing restorative materials-Fluoride release and uptake characteristics, antibacterial activity and influence on caries formation. *Dent Mater* 2007; 23:343-62.
2. Niessen LC, Gibson G. Oral health for a lifetime: preventive strategies for the older adult. *Quintessence Int* 1997; 28:626-30.
3. Fejerskov O. Fluoride in dentistry. Munksgaard International Publishers, 1996.
4. Larson TD. The therapeutic use of glass ionomer. *Review. Northwest Dent* 2008; 87:13-9.
5. Mjor IA, Gordan VV. Failure, repair, refurbishing and longevity of restorations. *Oper Dent* 2002; 27:528-34.
6. Tyas MJ. Clinical evaluation of glass-ionomer cement restorations. *J Appl Oral Sci* 2006; 14:10-3.
7. McLean JW, Nicolson JW, Wilson AD. Proposed nomenclature for glass ionomer dental cements and related materials. *Quintessence Int* 1994; 25:587-9.
8. Brannstrom M, Mattsson B, Torstenson B. Materials techniques for lining composite resin restorations: a critical approach. *J Dent* 1991; 19:71-9.
9. Hayacibara MF, Ambrozano GM, Cury JA. Simultaneous release of fluoride and aluminum from dental materials in various immersion media. *Oper Dent* 2004; 29:16-22.
10. Mousavinasab M, Meyers I. Fluoride release and uptake by glass ionomer cements, compomers and giomers. *Res J Biol Sci* 2009; 4:609-16.
11. Craig RG, Powers JM. Restorative dental materials. 11th ed. St. Louis: Mosby Inc; 2002.
12. Van Noort R. Introduction to Dental Materials, 3rd ed, Elsevier, London, UK, 2007.
13. Davidson CL, Feilzer AJ. Polymerization shrinkage and polymerization shrinkage stress in polymer-based restoratives. *J Dent* 1997; 25:435-40.

14. Hosoda H, Yamada T, Inokoshi S. SEM and elemental analysis of composite resins. *J Prosth Dent* 1990; 64:669-76.
15. Xu X, Burgess JO. Compressive strength, fluoride release and recharge of fluoride-releasing materials. *Biomaterials* 2003; 24:2451-61.
16. Preston AJ, Agalamanyi EA, Higham SM, Mair LH. The recharge of esthetic dental restorative materials with fluoride in vitro-two years' results. *Dent Mater* 2003; 19:32-7.
17. Demirci M, Sancakli HS, Uysal O. Clinical evaluation of a polyacid-modified resin composite (Dyract) in class V carious lesions: 5-year results. *Clin Oral Invest* 2008; 12:157-63.
18. Nicholson JW. Compomers: Ask the experts. *J Esth Rest Dent* 2008; 20:3-4.
19. Eliades G, Kakaboura A, Palaghias G. Acid-base reaction and fluoride release profiles in visible light-cured polyacid-modified composite restoratives (compomers). *Dent Mater* 1998; 14:57-63.
20. Ikemura K, Tay FR, Endo T, Pashley DH. A review of chemical-approach and ultramorphological studies on the development of fluoride-releasing dental adhesives comprising new Pre-Reacted Glass ionomer (PRG) fillers. *Dent Mater* 2008; 27: 315-39.
21. Guida A, Hill RG, Towler MR, Eramo S. Fluoride release from model glass ionomer cements. *J Mater Sti Mater Med* 2002; 13:645-9.
22. Yli-Urpo H, Vallittu PK, Narhi TO, Forsback AP, Vakiaparta M. Release of silica, calcium, phosphorus and fluoride from glass ionomer cement containing bioactive glass. *J Biomater Appl* 2004; 19:5-20.
23. Gandolfi MG, Chersoni S, Acquaviva GL, Piana G, Prati C, Mongiorgi R. Fluoride release and absorption at different pH from glass ionomer cements. *Dent Mater* 2006; 22:441-9.
24. Namen FM, Galan Jr J, De Deus G, Cabreira RD, Costa E, Silva Filho F. Effect of pH on the wettability and fluoride release of an ion-releasing resin composite. *Oper Dent* 2008; 33:571-8.
25. Bell A, Creanor SL, Foye RH, Saunders WP. The effect of saliva on fluoride release by a glass-ionomer filling material. *J Oral Rehab* 1999; 26:407-12.
26. Geurtsen W, Leyhausen G, Garcia-Godoy F. Effect of storage media on the fluoride release and surface microhardness of four polyacid-modified composite resins (compomers). *Dent Mater* 1999; 15:196-201.
27. Behrend B, Geurtsen W. Long-term effects of four extraction media on the fluoride release from four polyacid-modified composite resins (compomers) and one resin-modified glass-ionomer cement. *J Biomed Mater Res* 2001; 58:631-7.
28. Williams JA, Billington RW, Pearson GJ. The influence of sample dimensions on fluoride ion release from a glass ionomer restorative cement. *Biomaterials* 1999; 20:1327-37.
29. McKnight-Hanes C, Whitford GM. Fluoride release from three glass ionomer materials and the effects of varnishing with or without finishing. *Caries Res* 1992; 26:345-50.
30. Verbruyse CW, De Maeyer EA, Verbeeck RM. Fluoride release of polyacid-modified composite resins with and without bonding agents. *Dent Mater* 2001; 17:354-8.
31. Robertello FJ, Meares WA, Gunsolley JC, Baughan LW. Effect of peroxide bleaches on fluoride release of dental materials. *Am J Dent* 1997; 10:264-7.
32. Han L, Cu E, Li M, Niwano K, Ab N, Okamoto A. Effect of fluoride mouth rinse on fluoride releasing and recharging from aesthetic dental materials. *Dent Mater J* 2002; 21:285-95.
33. Freedman R, Diefenderfer KE. Effects of daily fluoride exposures on fluoride release by glass ionomer-based restoratives. *Oper Dent* 2003; 28:178-85.
34. Gao W, Smales RJ, Gale MS. Fluoride release / uptake from newer glass-ionomer cements used with the ART approach. *Am J Dent* 2000; 13:201-4.
35. Deblem AC, Pedrini D, Franca JG, Machado TM. Fluoride release/recharge from restorative materials – effect of fluoride gels and time. *Oper Dent* 2005; 30:690-5.
36. Preston AJ, Agalamanyi EA, Higham SM, Mair LH. The recharge of esthetic dental restorative materials with fluoride in vitro-two years' results. *Dent Mater* 2003; 19:32-7.
37. Suljak JP, Hatibovic-Kofman S. A fluoride release-absorption-release system applied to fluoride-releasing restorative materials. *Quintessence Int* 1996; 27:635-8.
38. Attar N, Turgut MD. Fluoride release and uptake capacities of fluoride-releasing restorative materials. *Oper Dent* 2003; 28:395-402.
39. Diaz-Arnold AM, Holmes DC, Wistrom DW, Swift Jr EJ. Short-term fluoride release/ uptake of glass ionomer restoratives. *Dent Mater* 1995; 11:96-101.
40. Yip HK, Smales RJ. Fluoride release and uptake by aged resin-modified glass ionomers and a polyacid-modified resin composite. *Int Dent J* 1999; 49:217-25.
41. Damen JJ, Buijs MJ, ten Cate JM. Uptake and release of fluoride by saliva-coated glass ionomer cement. *Caries Res* 1996; 30:454-7.
42. Damen JJ, Buijs MJ, Van Strijp AJ, ten Cate JM. In vitro fluoride uptake by intra-orally aged and contaminated glass ionomer cement. *Caries Res* 1999; 33:88-90.
43. White DJ. The application of in vitro models to research on demineralization and remineralization of the teeth. *Adv Dent Res* 1995; 9:175-93.
44. Buzalaf MAR, Hannas AR, Magalhaes AC, Rios D, Honorio HM, Delbem ACB. pH-cycling models for in vitro evaluation of the efficacy of fluoridated dentifrices for caries control: strengths and limitations. *J Appl Oral Sci* 2010; 18:4.
45. Hara AT, Turssi CP, Ando M, Gonzalez-Cabezas C, Zero DT, Rodriguez AL Jr, Serra MC, Cury JA. Influence of fluoride-releasing restorative material on root dentine secondary caries in situ. *Caries Res* 2006; 40:435-9.
46. Cenci MS, Tenuta LMA, Pereira-Cenci T, Del Bel Cury AA, Ten Cate JM, Cury JA. Effect of microleakage and fluoride on enamel-dentine demineralization around restorations. *Caries Res* 2008; 42:369-79.

47. Paradella TC, Koga-Ito CY, Jorge AOC. Ability of different restorative materials to prevent in situ secondary caries: Analysis by polarized light microscopy and energy-dispersive X-ray. *Eur J Oral Sci* 2008; 116:375-80.
48. Pereira PN, Inokoshi S, Tagami J. In vitro secondary caries inhibition around fluoride releasing materials. *J Dent* 1998; 26:505-10.
49. Yamamoto H, Iwami Y, Unezaki T, Tomii Y, Ebisu S. Fluoride uptake in human teeth from fluoride releasing restorative material in vivo and in vitro: two-dimensional mapping by EPMA-WDX. *Caries Res* 2001; 35:111-5.
50. Attar N, Onen A. Fluoride release and uptake characteristics of aesthetic restorative materials. *J Oral Rehab* 2002; 29:791-8.
51. Yaman SD, Er O, Yetmez M, Karabay GA. In vitro inhibition of caries-like lesions with fluoride releasing materials. *J Oral Sci* 2004; 46:45-50.
52. Okida RC, Mandarino F, Sundfeld RH, de Alexandre RS, Sundfeld ML. In vitro evaluation of secondary caries formation around restoration. *Bull Tokyo Dent Coll* 2008; 49:121-8.
53. Paradella TC, de Sousa FA, Koga-Ito CY, Jorge AO. Microbiological or chemical models of enamel secondary caries compared by polarized-light microscopy and energy dispersive X-ray spectroscopy. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 2009; 90:635-40.
54. Borges FT, Campos WR, Munari LS, Moreira AN, Paiva SM, Magalhaes CS. Cariostatic effect of fluoride-containing restorative materials associated with fluoride gels on root dentin. *J Appl Oral Sci* 2010; 18:453-60.
55. Hicks J, Flaitz CM. Resin-modified glass-ionomer restorations and in vitro secondary caries formation in coronal enamel. *Quintessence Int* 2000; 31:570-8.
56. Torii Y, Itota T, Okamoto M, Nakabo S, Nagamine M, Inoue K. Inhibition of artificial secondary caries in root by fluoride-releasing restorative materials. *Oper Dent* 2001; 26:36-43.
57. Gonzalez EH, Yap AUJ, Hsu SCY. Demineralization inhibition of direct tooth-colored restorative materials. *Oper Dent* 2004; 29:578-85.
58. Rodrigues E, Delbem ACB, Pedrini D, Oliveira MSR. PH-cycling model to verify the efficacy of fluoride-releasing materials in enamel demineralization. *Oper Dent* 2008; 33:658-65.
59. Hicks J, Garcia-Godoy, Milano M, Flaitz C. Compomer materials and secondary caries formation. *Am J Dent* 2000; 13:231-4.
60. Itota T, Nakabo S, Iwai Y, Konishi N, Nagamine M, Torii Y, Yoshiyama M. Effect of adhesives on the inhibition of secondary caries around compomer restorations. *Oper Dent* 2001; 26:445-50.
61. Sonoda H, Okuda M, Sasafuchi Y, Kitasako Y, Nikaido T, Otsuki M, Tagami J. Secondary caries inhibition around Reactmer in vivo. *Japan J Conserv Dent* 2000; 43:94.
62. Itota T, Nakabo S, Iwai Y, Konishi N, Nagamine M, Torii Y. Inhibition of artificial secondary caries by fluoride-releasing adhesives on root dentin. *J Oral Rehab* 2002; 29:523-7.
63. Glasspoole EA, Erickson RL, Davidson CL. Demineralization of enamel in relation to the fluoride release of materials. *Am J Dent* 2001; 14:8-12.
64. Takeuti ML, Marquezan M, Rodrigues CR, Rodrigues Filho LE, Rocha Rde O. Inhibition of demineralization adjacent to tooth-colored restorations in primary teeth after 2 in vitro challenges. *J Dent Child (Chic)* 2007; 74:209-14.
65. Dijkman GE, Arends J. Secondary caries in situ around fluoride-releasing light-curing composites: a quantitative model investigation on four materials with fluoride content between 0 and 26vol%. *Caries Res* 1992; 26:351-7.
66. Dijkman GE, de Vries J, Lodding A, Arends J. Long-term fluoride release of visible light-activated composites in vitro: a correlation with in situ demineralization data. *Caries Res* 1993; 27:117-23.
67. Jacobson APM, Strang R, Stephen KW. Effect of low fluoride levels in de/remineralization solutions of pH-cycling model. *Caries Res* 1991; 25:230-1.
68. Mickenautsch S, Yengopal V. Demineralization of hard tooth tissue adjacent to resin-modified glass-ionomers and composite resins: a quantitative systematic review. *J Oral Sci* 2010; 52:347-57.
69. Tantbirojn D, Douglas WH, Versluis A. Inhibitive effect of a resin-modified glass ionomer cement on remote enamel artificial caries. *Caries Res* 1997; 31:275-80.
70. Wandera A. In vitro enamel effects of a resin-modified glass ionomer: fluoride uptake and resistance to demineralization. *Pediatr Dent* 1998; 20:411-7.
71. Xu HH, Weir MD, Sun L, Ngai S, Takagi S, Chow LC. Effect of filler level and particle size on dental caries-inhibiting Ca-PO₄ composite. *J Mater Sci Mater Med* 2009; 20:1771-9.
72. Zimmerman BF, Rawls HR, Querens AE. Prevention of in vitro secondary caries with an experimental fluoride-exchanging restorative resin. *J Dent Res* 1984; 63:689-92.
73. Van Dijken JW. 3-year clinical evaluation of a compomer, a resin-modified glass ionomer and a resin composite in class III restorations. *Am J Dent* 1996; 9:195-8.
74. Attin T, Opatowski A, Meyer C, Zingg-Meyer B, Buchalla W, Schulte-Mönting J. Three-year follow up assessment of class II restorations in primary molars with a polyacid-modified composite resin and a hybrid composite. *Am J Dent* 2001; 14:148-52.
75. Marks LA, Weerheijm KL, Van Amerongen WE, Groen HJ, Martens LC. Dyract versus Tytin class II restorations in primary molars: 36 months evaluation. *Caries Res* 1999; 33:387-92.
76. Papagiannoulis L, Kakaboura A, Eliades G. In vitro vs. in vivo anticariogenic behavior of glass-ionomer and resin composite restorative materials. *Dent Mater* 2002; 18:561-9.
77. Wucher M, Grobler SR, Senekal PJ. A 3-year clinical evaluation of a compomer, a composite and a compomer/composite (sandwich) in class II restorations. *Am J Dent* 2002; 15:274-8.
78. Lindberg A, Van Dijken JW, Lindberg M. 3-Year evaluation of a new open sandwich technique in class II cavities. *Am J Dent* 2003; 16:33-6.
79. Van Dijken JW. A 6-year clinical evaluation of class I

- poly-acid modified resin composite/resin composite laminate restorations cured with a two-step curing technique. *Dent Mater* 2003; 19:423-8.
80. Welbury RR, Walls AWG, Murray JJ, McCabe JF. The 5-year results of a clinical trial comparing a glass polyalkenoate (ionomer) cement restoration with an amalgam restoration. *Br Dent J* 1991; 170:177-81.
81. Donly KJ, Segura A, Kanellis M, Erickson RL. Clinical performance and caries inhibition of resin-modified glass ionomer cement and amalgam restorations. *J Am Dent Assoc* 1999; 130:1459-66.
82. Welbury RR, Shaw AJ, Murray JJ, Gordon PH, McCabe JF. Clinical evaluation of paired compomer and glass ionomer restorations in primary molars: final results after 42 months. *Br Dent J* 2000; 189:93-7.
83. Kotsanos N. An intraoral study of caries induced on enamel in contact with fluoride-releasing restorative materials. *Caries Res* 2001; 35:200-4.
84. McComb D, Erickson RL, Maxymiw WG, Wood RE A clinical comparison of glass ionomer, resin-modified glass ionomer and resin composite restorations in the treatment of cervical caries in xerostomic head and neck radiation patients. *Oper Dent* 2002; 27:430-7.
85. Hubel S, Mejare I. Conventional versus resin-modified glass-ionomer cement for class II restorations in primary molars. A 3-year clinical study. *Int J Paediatr Dent* 2003;13:2-8.
86. Mandari GJ, Frencken JE, Van't Hof MA. Six-year success rates of occlusal amalgam and glass-ionomer restorations placed using three minimal intervention approaches. *Caries Res* 2003; 37:246-53.
87. Qvist V, Laurberg L, Poulsen A, Teglers PT. Class II restorations in primary teeth: 7-year study on three resin-modified glass ionomer cements and a compomer. *Eur J Oral Sci* 2004; 112:188-96.