

Βαθμός διαλυτότητας φυραμάτων έμφραξης ριζικών σωλήνων

Κ. ΙΩΑΝΝΙΔΗΣ¹, Π. ΜΠΕΛΤΕΣ²

Εργαστήριο Ενδοδοντολογίας, Οδοντιατρική Σχολή Α.Π.Θ.

Evaluation of solubility of root canal sealers. A review of the literature

Κ. ΙΩΑΝΝΙΔΙΣ¹, Π. ΒΕΛΤΕΣ²

Dept. of Endodontology, Dental School, Aristotle University Thessaloniki

Περίληψη

Μια από τις βασικότερες ιδιότητες που πρέπει να πληρεί κάθε φύραμα σε έναν ενδοδοντικά θεραπευμένο ριζικό σωλήνα είναι η αντίσταση στη διάλυση. Το φαινόμενο της διάλυσης συμβαίνει στο μυλικό ή στο ακρορριζικό τριτημόριο της ρίζας εξαιτίας της φυσικοχημικής αλληλεπίδρασης της εκτιθέμενης επιφανειακής δομής των φυραμάτων με το υγρό περιβάλλον είτε της στοματικής κοιλότητας είτε των περιακρορριζικών ιστών. Η βιβλιογραφική ανασκόπηση που ακολουθεί έχει ως στόχο την αξιολόγηση και τη σύγκριση των εξαχθέντων ποσοτικών και ποιοτικών αποτελεσμάτων, τη διερεύνηση της αιτιολογίας της διάλυσης των φυραμάτων και τις επιπτώσεις του φαινομένου στην ποιότητα της ενδοδοντικής θεραπείας, στη στοματική και γενική υγεία του ασθενούς. Η έρευνα αναφορικά με τη διαλυτότητα περιλαμβάνει τις σπουδαιότερες κατηγορίες φυραμάτων, δηλαδή τα φυράματα ZnOE, πολυκετονικών παραγώγων, Ca(OH)₂, εποξυλικών ρητινών, υαλοϊονομερούς κόνιας και σιλικονούχων παραγώγων.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Διαλυτότητα, ενδοδοντικά φυράματα.

Summary

Resistance to dissolution is one of the basic sealing properties that a sealer has to fulfill, in a root canal treated tooth. This phenomenon occurs either at the coronal or at the apical third of a filled root canal because of the physicochemical interaction between the exposed surface of the sealer and the humid environment that exists in the oral cavity and the periapical tissues. The purpose of the following review is the evaluation and the comparison of the qualitative and quantitative experimental results, the study of the aetiology of solubility and the effects on the quality of the root canal treatment, oral and general health of the patient. Each experimental method that is associated with the solubility of root canal sealers includes the examination of some of the most commonly used sealers, such as ZnOE, polyketone, Ca(OH)₂, epoxy resin, glass ionomer cement and silicone-based sealers.

KEY WORDS: Endodontic sealers, solubility.

Στάλθηκε στις 27.1.2006. Εγκρίθηκε στις 1.6.2006.

¹ Φοιτητής Οδοντιατρικής² Αναπληρωτής ΚαθηγητήςReceived on 27th Jan., 2006. Accepted on 1th June, 2006.¹ Student² Assoc. Professor

Εισαγωγή

Η αναγκαιότητα για διατήρηση της ερμητικότητας της έμφραξης τόσο κατά τη διάρκεια της οργάνωσης δομής και πήξης του υλικού (setting reaction) όσο και μετέπειτα, αποτελεί βασική προϋπόθεση για τον περιορισμό της μικροδιείσδυσης σε όλο το μήκος και εύρος της έμφραξης του ριζικού σωλήνα, μυλικά και ακρορριζικά. Μια από τις βασικές φυσικοχημικές ιδιότητες που πρέπει να πληρεί κάθε φύραμα για την επίτευξη των παραπάνω είναι η αντίσταση στη διάλυση από τα υγρά της στοματικής κοιλότητας και τα υγρά των περιακρορριζικών ιστών, όταν έρθουν σε επαφή με αυτά.

Ως όρος, η διαλυτότητα εκφράζει την ικανότητα μιας ουσίας να διαλύεται σε μια άλλη ή να διασπείρεται σε μια άλλη, ώστε να αποτελέσουν μαζί ομογενές σύστημα, δηλαδή διάλυμα σε συνθήκες θερμοδυναμικής ισορροπίας^{1,2}. Η διαλυτότητα των ενδοδοντικών φυραμάτων είναι αποτέλεσμα αλληλεπίδρασης δύο φαινομένων, της προσρόφησης υγρού διαλύτη και της μετέπειτα αποδιοργάνωσης και διάλυσης³.

Σκοπός της εργασίας είναι η βιβλιογραφική ανασκόπηση των ερευνητικών δεδομένων που συγκρίνουν το φαινόμενο της διαλυτότητας μεταξύ των κυριότερων κατηγοριών ενδοδοντικών φυραμάτων, η διερεύνηση της αιτιολογίας της διάλυσής τους και η αξιολόγηση των επιπτώσεων του φαινομένου στην ποιότητα της ενδοδοντικής θεραπείας και στη στοματική και γενική υγεία του ασθενούς.

Πειραματική Μεθοδολογία

Οι έρευνες για την πειραματική μέτρηση της διαλυτότητας των ενδοδοντικών φυραμάτων παρουσιάζουν πολλά κοινά σημεία, αλλά και διαφορές ως προς τη μεθοδολογία τους σε σχέση με το παρελθόν. Σήμερα, διαμορφώνονται και εναρμονίζονται με βάση τις απαιτήσεις του συστήματος ISO 6876 (2001), την πρόταση No. 57 της ADA και την πρόταση του British Standard 6934 (1988). Σύμφωνα με τις απαιτήσεις του συστήματος ISO 6876 (2001) και την πρόταση του British Standard 6934 (1988), τα ενδοδοντικά φυράματα δεν πρέπει να παρουσιάζουν διαλυτότητα μεγαλύτερη από 3%, έπειτα από διαβροχή τους σε υδατικό διάλυμα για 24 h. Η πρόταση No. 57 της ADA έχει μεγαλύτερη ελαστικότητα, θέτει το ίδιο όριο διάλυσης (3%), αλλά κατόπιν μετρήσεων για χρονικό διάστημα 1 εβδομάδας.

Τα χρησιμοποιούμενα πειραματικά μοντέλα για τη μέτρηση της διαλυτότητας έχουν ως στόχο την προσομοίωση της παρουσίας των ενδοδοντικών φυραμάτων σε in vivo συνθήκες, δηλαδή στο περιβάλλον της στοματικής κοιλότητας και συγκεκριμένα στο, χημικομηχανικά, επεξεργασμένο ριζικό σωλήνα μετά τη φάση της τελικής έμφραξης. Έτσι, οι πειραματικές διαδικασίες τελούνται σε ειδικούς θαλάμους ή κλίβανους θερμο-

κρασίας 37°C και σχετικής υγρασίας 95–100%, συνθήκες που, ομοίως, επικρατούν στο περιβάλλον της στοματικής κοιλότητας.

Τα υγρά με τα οποία είναι δυνατό να έρθουν σε επαφή τα φυράματα είναι αυτά του σάλιου και των περιακρορριζικών ιστών (είτε φλεγμονώδες εξίδρωμα είτε μεσοκυττάρια ουσία) και δύνανται να προκαλέσουν τη διάλυσή τους. Παρόλο αυτά, για τη μέτρηση της διαλυτότητας χρησιμοποιούνται διαλύματα στα οποία, όμως, ο διαλύτης είναι, κατά κύριο λόγο, το αποσταγμένο νερό⁴⁻⁶. Ο Higginbotham (1967)⁷ συνέκρινε τη διαλυτότητα σε ένα διάλυμα αποσταγμένου ύδατος και ένα διάλυμα οξικού οξέως 0,001M pH=4. Ωστόσο, η χρήση του δευτέρου διαλύματος στερείται κλινικής σημασίας. Ο Grossman (1978)⁸ χρησιμοποίησε διάλυμα περιεκτικότητας 98% νερό και 2% φυτικό ζωμό με σκοπό να προσδώσει στο διάλυμα την ιδιότητα του ιζώδους του υγρού των περιακρορριζικών ιστών. Η προσομοίωση αυτή, όμως, δεν ξαναχρησιμοποιήθηκε. Οι Ahlberg & Tay (1998)⁹, για τη μέτρηση της διαλυτότητας ενός φυράματος μεθακρυλικής ρητίνης που βρίσκεται σε ερευνητικό στάδιο, χρησιμοποίησαν διάλυμα αποστειρωμένου σάλιου. Οι Schäfer & Zandbiglari (2003)¹⁰ συνέκριναν τη διαλυτότητα σε διάλυμα αποσταγμένου ύδατος και σε διαλύματα τεχνητά παρασκευασμένου σάλιου με pH=4,5/ 5,7/ 7. Παρόλο αυτά, απαιτείται περισσότερη διαρεύνηση ως προς την επιλογή της οξύτητας των παραπάνω όξινων διαλυμάτων. Είναι γνωστό ότι το pH του σάλιου κυμαίνεται 5,2–7,8 (μέση τιμή 6,7) και είναι μεγαλύτερο στο σάλιο διέγερσης¹¹.

Σε όλες γενικά τις έρευνες μέχρι σήμερα, χρησιμοποιούνται κυλινδρικές μήτρες (από Teflon, ανοξείδωτο ατσάλι, πολυαιθυλένιο) συγκεκριμένων διαστάσεων (εσωτερική διάμετρος 5–20 mm X ύψος 1,6–10 mm), όπου τοποθετούνται τα παρασκευασμένα, σύμφωνα με τους κατασκευαστές, δείγματα φυραμάτων. Πριν την τοποθέτησή τους στα επιμέρους υγρά διαλύματα, τα φυράματα αφήνονται στις μήτρες για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο από τον απαιτούμενο χρόνο πήξης που ορίζουν οι κατασκευαστές, για την ολοκλήρωση της στερεοποίησής τους. Το χρονικό διάστημα ποικίλει ανά ερευνητή: 24 h^{4,10}, 48 h⁵, 1 εβδομάδα⁸, 2 εβδομάδες⁹, χρόνος 3πλάσιος από τον απαιτούμενο χρόνο πήξης σύμφωνα με ADA No. 57⁶. Εξάιρεση αποτελεί το πειραματικό πρωτόκολλο των McComb και συν. (1976)¹², όπου τα παρασκευασμένα δείγματα τοποθετήθηκαν αμέσως μετά την πήξη τους στο υδατικό διάλυμα. Στη συνέχεια, τα κυλινδρικά δείγματα των φυραμάτων αφαιρέθηκαν από τις μήτρες και τοποθετήθηκαν στους υγρούς διαλύτες, όπου και ξεκινούσε η διαβροχή τους.

Η μέτρηση της διαλυτότητας γίνεται ποσοτικά ή ποιοτικά και τελείται μετά την αφαίρεση των επιφανειών από τα διαλύματα και την αποξήρανση των επιφανειών τους. Η ποσοτική μέτρηση των αποτελεσμάτων προσδιορίζεται είτε από τις μεταβολές των μαζών των

φυραμάτων που βρίσκονται στο εκάστοτε διάλυμα (αρχική μάζα-τελική μάζα σε γραμμάρια)⁸, είτε ποσοστιαία, δηλαδή βάσει των μεταβολών των μαζών και της σχέσης τους με την αρχική μάζα (%)^{4-7,9,10}. Ως αρχική μάζα ορίζεται η μάζα του δείγματος πριν την τοποθέτησή του στο διάλυμα, μετά την ολοκλήρωση της στερεοποίησης του. Ως τελική μάζα ορίζεται η μάζα του δείγματος μετά την απομάκρυνσή του από το διάλυμα και την αποξήρανση της επιφάνειάς του από το διάλυμα. Οι τιμές των μετρήσεων αντικατοπτρίζουν ουσιαστικά την ποσότητα του διαλυμένου σώματος κάθε φυράματος στον εκάστοτε διαλύτη.

Η ποιοτική μέθοδος μέτρησης της διάλυσης υιοθετήθηκε από τους Kaplan και συν. (1997)⁴, οι οποίοι μελέτησαν τη διαλυτότητα κάποιων φυραμάτων τόσο ποσοτικά όσο και ποιοτικά. Η ποιοτική μέθοδος ακολουθεί τα στάδια που προαναφέρθηκαν και διαφοροποιείται στο ότι η ένταση της διάλυσης προσδιορίζεται με τη χρήση ηλεκτρονικού μικροσκοπίου. Οι μεταβολές που παρατηρούνται στις επιφάνειες των δειγμάτων, εξαιτίας της αποδιοργάνωσης της δομής τους, φωτογραφίζονται και συγκρίνονται μετέπειτα σε σχέση με τις επιφάνειες των δειγμάτων πριν τη διαβροχή τους.

Οι μετρήσεις για τη διαλυτότητα γίνονται για χρονικές περιόδους που κυμαίνονται από 7 ημέρες^{6-8,12}, 28 ημέρες¹⁰, 45 ημέρες⁴, 12 εβδομάδες⁵ μέχρι και 11 μήνες⁹. Ορισμένοι από τους παραπάνω ερευνητές μέτρησαν τη διαλυτότητα αθροιστικά, δηλαδή τη συνολική απώλεια μάζας στο τέλος των παραπάνω χρονικών περιόδων, θέλοντας να αξιολογήσουν την εξέλιξη του φαινομένου της διάλυσης σε βάθος χρόνου. Άλλοι μέτρησαν την απώλεια μάζας των φυραμάτων σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές, θέλοντας έτσι να αξιολογήσουν, κατά κύριο λόγο, τη μεταβολή στην ένταση του φαινομένου της διάλυσης με την πάροδο του χρόνου.

Κατηγορίες φυραμάτων - Διαλυτότητα – Αιτιολογία

Παρακάτω παρατίθενται τα ερευνητικά δεδομένα αναφορικά με το ποσοστό και την ένταση της διάλυσης των οπουδαιότερων ομάδων φυραμάτων σε αντίστοιχες χρονικές περιόδους, όπως, επίσης, και η αιτιολογία διάλυσής τους.

Φυράματα ZnOE

Τα φυράματα ZnOE χρησιμοποιούνται, ευρέως, για πολλά χρόνια. Η αντίδραση μεταξύ του οξειδίου του ψευδαργύρου και της ευγενόλης οδηγεί στο σχηματισμό της ασταθούς δομής των φυραμάτων, με αποτέλεσμα τις περιορισμένες φυσικοχημικές και βιολογικές ιδιότητες σε σχέση με άλλες ομάδες φυραμάτων. Το γεγονός αυτό ισχύει και για τη διαλυτότητα.

Τα φυράματα ZnOE παρουσιάζουν αυξημένη διαλυτότητα σε σχέση με τα φυράματα σιλικονούχων παρα-

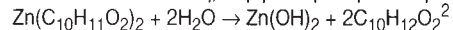
γώνων, εποξειδικών ρητινών και πολυκετονικών παραγώνων^{5-8,10}. Ωστόσο, τα αποτελέσματα ορισμένων ερευνητών δε συμφωνούν με τα παραπάνω. Ο Higginbotham (1967)⁷ διαπίστωσε ότι το φύραμα ZnOE Procosol (Star Dental) παρουσίασε ελάχιστη μικρότερη διαλυτότητα από το πολυκετονικό φύραμα Diaket (Espe). Οι McComb και συν. (1976)¹² διαπίστωσαν ότι τα φυράματα ZnOE Tubliseal (Kerr), Procosol nonstaining (Star Dental), και Roth 511 (Roth) παρουσίασαν μικρότερη διαλυτότητα από το AH 26 (Dentsply Maillefer). Τέλος, οι Kaplan και συν. (1997)⁴ δε διαπίστωσαν, σημαντικώς, στατιστική διαφορά ως προς την ένταση της διάλυσης μεταξύ των φυραμάτων Tubliseal (Kerr), AH 26 (Dentsply Maillefer), Ketac Endo (Espe).

Οι προαναφερθείσες διαφοροποιήσεις δε συμπεριφέρονται με τα νεότερα δεδομένα. Έτσι, στις νεότερες εργασίες, τα ποσοστά διάλυσης των φυραμάτων ZnOE όχι μόνο παρουσιάζονται αυξημένα, αλλά είναι πολύ μεγαλύτερα από τα επιτρεπόμενα όρια που έχουν θεοπιστεί από το σύστημα ISO 6876(2001) και την πρόταση No. 57 της ADA.

Οι Carvalho Junior και συν. (2003)⁶ αναφέρουν ότι, μετά από μια εβδομάδα, το φύραμα Endofill (Lee Pharmaceuticals) παρουσίασε μεγαλύτερο ποσοστό διάλυσης (3,92%) από το επιτρεπόμενο όριο που θέτει η πρόταση No. 57 της ADA, ενώ το φύραμα N-Rickert (Kerr) το ξεπέρασε οριακά (3,01%). Σύμφωνα με την πρόταση No. 57 της ADA, τα ενδοδοντικά φυράματα δεν πρέπει να παρουσιάζουν διαλυτότητα μεγαλύτερη από 3% όταν τοποθετηθούν σε διάλυμα αποσταγμένου ύδατος για 1 εβδομάδα. Η παρουσία βορικού νατρίου (sodium borate) στη σύσταση του Endofill (Lee Pharmaceuticals) επιτείνει τη διάλυσή του¹³. Η παρουσία του άλατος aristol επηρεάζει αρνητικά και αυξάνει τη διάλυση του N-Rickert (Kerr)¹⁴.

Οι Schäfer & Zandbiglari (2003)¹⁰ αναφέρουν ότι μετά από 24 ώρες το φύραμα Aptal Harz (Speiko) παρουσίασε έντονη διαλυτότητα, με αποτέλεσμα να μην ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις του ISO 6876 (2001). Η μεταβολή της μάζας των ενδοδοντικών φυραμάτων δεν πρέπει να ξεπερνάει το 3% της συνολικής μάζας του μετά από διαβροχή σε διάλυμα αποσταγμένου ύδατος για 24 ώρες. Η διαρκής και σημαντική απώλεια μάζας συνεχίστηκε και για τις επόμενες 28 ημέρες τέλεσης των πειραματικών διαδικασιών φτάνοντας σε ποσοστά 5,74–9,27%.

Μετά την πήξη των φυραμάτων ZnOE, το παραγόμενο προϊόν είναι πορώδες και παρουσιάζει ασταθή δομή, η οποία εύκολα αποδιοργανώνεται παρουσία υγρού διαλύτη¹⁵. Βασική αιτία διάλυσης των ευγενολούχων φυραμάτων είναι η υδρολυτική διάσπαση των βασικών συστατικών τους, σύμφωνα με την αντίδραση :



Από την παραπάνω αντίδραση το σχηματιζόμενο υδροξείδιο του ψευδαργύρου είναι ιδιαίτερα υδατοδιαλυτό, ενώ η ένωση $\text{C}_{10}\text{H}_{12}\text{O}_2$ είναι πηκτική και εξατμι-

ζεταί².

Επίσης, η συνεχής απώλεια περίσσειας ή μη αντιδρώσας ευγενόλης, λόγω υδρολυτικής διάσπασης του υπάρχοντος ευγενολικού ψευδαργύρου, επιτείνει την αποδιοργάνωση και τη διαταραχή της ισοροπίας της εσωτερικής δομής των φυραμάτων ZnOE^{2,15}.

Είναι αξιοσημείωτο, ότι η ένταση της διάλυσης των φυραμάτων ZnOE είναι εντονότερη, παρουσία όξινου περιβάλλοντος^{7,10}. Όπως προαναφέρθηκε, η επιλογή των, εν λόγω, όξινων διαλυμάτων στερείται κλινικής σημασίας.

Φυράματα Πολυκετονικών παραγώγων

Τα φυράματα πολυκετονικών παραγώγων προκύπτουν από την ανάμιξη σκόνης ZnOE και υγρού διαλύματος που περιέχει τις κετονικές ομάδες, σχηματίζοντας μάζα ζελατινώδους υφής. Το φύραμα Diaket (Espe) παρουσίασε αυξημένη αντίσταση στη διάλυση σε σχέση με τις ομάδες φυραμάτων ZnOE, Ca(OH)₂, υαλοϊονομερών κονιών στις αντίστοιχες χρονικές περιόδους των μετρήσεων. Τα επίπεδα διάλυσης του δε διέφεραν σημαντικά από τα επίπεδα διάλυσης του AH 26 (Dentsply Maillefer)^{7,8,10,12}.

Η αυξημένη διαλυτότητα (4,26%) σε διάλυμα οξικού οξέος 0,001M με pH = 4⁷ στερείται κλινικής σημασίας. Οι Schäfer & Zandbiglari (2003)¹⁰ δεν παρατήρησαν αύξηση της διαλυτότητας, κατά την τοποθέτησή του σε διάλυμα τεχνητού σάλιου με pH = 4,5. Συνεπώς, δεν υπάρχει επαρκής βιβλιογραφική ενημέρωση και ομοφωνία για την επίδραση του όξινου περιβάλλοντος στη διαλυτότητα των φυραμάτων πολυκετονικών παραγώγων.

Φυράματα Ca(OH)₂

Τα φυράματα Ca(OH)₂ πρωτοχρησιμοποιήθηκαν με σκοπό την προαγωγή της επούλωσης και αναγέννησης των περιακρορριζικών ιστών, μέσω της απελευθέρωσης των ιόντων Ca²⁺ και OH⁻. Είναι γνωστό, επίσης, ότι η απελευθέρωσή τους διεγείρει το σχηματισμό ενασβεστωμένου οστεινοδούς ιστού με σκοπό την απόφραξη του ακρορριζικού πέρατος της ρίζας (root-end closure)^{16,17}. Σε πρώιμα στάδια της πήξης τους παρουσιάζουν σημαντική αντιμικροβιακή δράση, εξαιτίας της ανόδου του pH σε επίπεδα 8,6–9,14^{18–20}.

Η έκλυση ιόντων Ca²⁺ και OH⁻ έχει αρνητικό αντίκτυπο στη διαλυτότητα αυτής της ομάδας φυραμάτων. Μάλιστα, παρουσιάζονται περιπτώσεις, όπου τα ποσοστά διάλυσης ξεπερνούν τα επιτρεπόμενα όρια του συστήματος ISO 6876 (2001) και του BS 6934 (1988).

Οι McMichen και συν. (2003)⁵ αναφέρουν ότι το φύραμα Apexit (Vivadent) παρουσίασε μετά από 24 ώρες ποσοστιαία απώλεια μάζας μεγαλύτερη από το επιτρεπόμενο όριο του British Standard 6934 (1988) που

είναι 3%. Η διάλυση συνεχίστηκε κατά τις 12 εβδομάδες τέλεσης της πειραματικής διαδικασίας φτάνοντας μέχρι και 16,43%.

Οι Schäfer & Zandbiglari (2003)¹⁰ συνέκριναν τη διαλυτότητα των φυραμάτων Apexit (Vivadent), Sealapex (Kerr). Το Apexit (Vivadent) μετά το πρώτο 24ωρο ανταποκρίνεται στις προϋποθέσεις του ISO 6876 (2001) και έπειτα από 28 ημέρες η ποσοστιαία μεταβολή της μάζας κυμαίνεται 1,68–2,74%. Τα παραπάνω ευρήματα δεν έρχονται σε συμφωνία με αυτά των McMichen και συν. (2003)⁵, αναφορικά με τη διαλυτότητα του Apexit (Vivadent) κατά το πρώτο 24ωρο.

Αντίθετα, το Sealapex (Kerr) μετά το πρώτο 24ωρο δεν ανταποκρίνεται στις προϋποθέσεις του ISO 6876 (2001) και η ποσοστιαία μεταβολή της μάζας ξεπέρασε το επιτρεπόμενο όριο του 3%. Μετά από 28 ημέρες η ποσοστιαία μεταβολή της μάζας κυμαίνεται 5,55–10,14%.

Η μειωμένη διαλυτότητα του Apexit (Vivadent) σε σχέση με το Sealapex (Kerr) αποδίδεται στην περιεκτικότητα του σε ψευδαργυρικό άλας στεατικού οξέος (zinc stearate), το οποίο είναι υδρόφοβο μόριο και εμποδίζει την είσοδο ύδατος στην εσωτερική τους δομή¹⁰.

Αιτία της αυξημένης διάλυσης των φυραμάτων Ca(OH)₂ είναι η αυξημένη προσρόφηση ύδατος, μέσω της πορώδους επιφάνειάς τους²¹. Το γεγονός αυτό οδηγεί τελικά σε κατάρρευση της εσωτερικής δομής τους και απελευθέρωση Ca²⁺ και OH⁻²².

Φυράματα εποξυλικών ρητινών

Τα φυράματα εποξυλικών ρητινών προκύπτουν από την αντίδραση του μονομερούς BADGE με τον κατάλληλο καταλύτη. Οι έρευνες των Grossman (1978)⁸, Carvalho Junior και συν. (2003)⁶, Schäfer & Zandbiglari (2003)¹⁰, διαχρονικά, δείχνουν ότι το ρητινούχο φύραμα AH 26 (Dentsply Maillefer) παρουσιάζει πολύ μικρότερη διαλυτότητα σε σχέση με τις ομάδες φυραμάτων ZnOE, Ca(OH)₂, υαλοϊονομερών κονιών και παρόμοια επίπεδα διάλυσης με τα φυράματα πολυκετονικών παραγώγων στις αντίστοιχες χρονικές περιόδους των μετρήσεων.

Ωστόσο, τα αποτελέσματα των Kaplan και συν. (1997)⁴ δεν έδειξαν, στατιστικώς, σημαντική διαφορά ως προς την ένταση της διάλυσης των AH 26 (Dentsply Maillefer), Tubliseal (Kerr), Ketac Endo (Espe) για τις χρονικές στιγμές 48h, 7ημέρες, 45 ημέρες.

Είναι αξιοσημείωτο ότι η ένταση της διάλυσης του AH 26 (Dentsply Maillefer) είναι ιδιαίτερα αυξημένη κατά τις πρώτες 24-48 ώρες^{4,10}. Το γεγονός αυτό σχετίζεται με την αντίδραση πήξης του AH 26 (Dentsply Maillefer), η οποία δεν ολοκληρώνεται πριν από το πέρας μιας εβδομάδας²³. Έτσι, στην έρευνα των McComb και συν. (1976)¹², όπου η διαβροχή των φυρα-

μάτων ξεκίνησε αμέσως μετά την πήξη τους, όπως προαναφέρθηκε, το φύραμα AH 26 (Dentsply Maillefer) παρουσίασε παρόμοια ή και ανώτερα επίπεδα διάλυσης σε σχέση με ορισμένα φυράματα ZnOE. Συνεπώς, η επαφή του φυράματος, κατά τις πρώτες ώρες, με υγρό διαλύτη οδηγεί σε αποδιοργάνωσή του κατά την αντίδραση πολυμερισμού. Η διαβροχή μη αντιδρώσας εξαμεθυλοτετραμίνης, οδηγεί στη διάσπασή της σε αμμωνία και φορμαλδεϋδή παρουσία υγρής φάσης^{24,25}. Τα παραπάνω δεδομένα επιβεβαίωσαν την παρατήρηση των McComb και συν. (1976)¹², οι οποίοι επισήμαναν την αυξημένη πρώιμη διάλυση του AH 26 (Dentsply Maillefer), και απέδωσαν αυτήν στο σχηματισμό ενός υπολειμματικού κρυσταλλικού παραπροϊόντος.

Το AH plus (Dentsply Maillefer), αποτελεί ρητινούχο φύραμα νεότερης γενιάς και παρουσιάζει σημαντικά μεγαλύτερη αντίσταση στη διάλυση από το AH 26 και τις υπόλοιπες ομάδες φυραμάτων^{5,10}. Αυτό οφείλεται στην ταχεία αντίδραση πολυμερισμού του, που δεν ξεπερνά τις 8 ώρες και δεν οδηγεί σε παραγωγή και έκλυση παραπροϊόντων, όπως συμβαίνει με το AH 26 (Dentsply Maillefer)²⁵. Έτσι, η διαβροχή του φυράματος από τους εκάστοτε διαλύτες έχει ελάχιστη επίδραση στη διαλυτότητα.

Φυράματα υαλοϊονομερών κονιών

Τα φυράματα υαλοϊονομερών κονιών προκύπτουν από την ανάμιξη σκόνης πλούσιας σε άλατα ασβεστίου, νατρίου, φθορίου, φωσφόρου και υγρού διαλύματος που περιέχει πολυακρυλικό, μαλενικό, ή ταρταρικό οξύ. Είναι γνωστή η ευαισθησία τους παρουσία υγρού περιβάλλοντος, γεγονός το οποίο επιδρά αρνητικά στην ποιότητα της έμφραξης αναφορικά με την ερμητικότητα, την ογκομετρική σταθερότητα και τη διαλυτότητα²⁶.

Το φύραμα Ketac Endo (Espe) παρουσίασε εντονότερη διαλυτότητα σε σχέση με τα φυράματα ZnOE, εποξυλικών ρητινών, πολυκετονικών παραγώγων, σιλικονούχων παραγώγων^{6,10}. Μάλιστα και στις δυο περιπτώσεις, η ποσοστιαία μεταβολή μάζας ξεπέρασε, κατά πολύ, τα απαιτούμενα όρια της πρότασης No. 57 της ADA και του ISO 6876 (2001). Οι Carvalho Junior και συν. (2003)⁶ μέτρησαν την ποσοστιαία μεταβολή της μάζας, η οποία μετά από μια εβδομάδα έφτασε στο 9,89% (τη στιγμή που το όριο της ADA είναι 3%). Οι Schäfer & Zandbiglari (2003)¹⁰ αναφέρουν πως το Ketac Endo (Espe) παρουσίασε, έπειτα από 30 sec, σημαντική απώλεια μάζας της τάξης του 3,27–7,49%, η οποία συνεχίστηκε και τις επόμενες 28 ημέρες.

Ωστόσο, τα ευρήματα των Kaplan και συν. (1997)⁴ δεν επιβεβαιώνουν τα παραπάνω και μάλιστα δε δείχνουν σημαντική διαφορά ως προς την ένταση της διάλυσης του Ketac Endo (Espe) σε σχέση με τα AH 26 (Dentsply Maillefer), Tubliseal (Kerr) τόσο ποσοτικά όσο και ποιοτικά.

Το φύραμα Endion (Voco) παρουσίασε εντονότερη διαλυτότητα σε σχέση με τα φυράματα Tubliseal (Kerr), AH plus (Dentsply Maillefer)⁵. Μάλιστα, η ποσοστιαία μεταβολή της μάζας ξεπέρασε, κατά πολύ, τα απαιτούμενα όρια του BS 6934 (1988) και μετά από 12 εβδομάδες έφτασε στο 8,19%.

Τα αίτια της αυξημένης διαλυτότητας των φυραμάτων υαλοϊονομερούς κονιάς σχετίζονται με την αντίδραση πήξης τους και τις μεταβολές που σημειώνονται, εξαιτίας της επίδρασης του υγρού περιβάλλοντος. Η πήξη της υαλοϊονομερούς κονιάς συντελείται σε 3 στάδια: α) Στάδιο διάλυσης, όπου μετά την επαφή σκόνης με το πολυακρυλικό οξύ, απελευθερώνονται από την ύαλο ιόντα Ca^{+2} και Al^{+3} , τα οποία μεταναστεύουν στη ρευστή μάζα της κονιάς, β) ζελατινώδες στάδιο, όπου τα παραπάνω κατιόντα δεσμεύονται από τα πολυανιόντα COO^- , F^- και σχηματίζουν άλατα, τα οποία ζελατινοποιούνται και σκληρύνονται, γ) στάδιο τελικής πήξης, όπου τα άλατα ενυδατώνονται και αναπτύσσεται η αντοχή των κονιών. Η διαδικασία πήξης ολοκληρώνεται έπειτα από 24 ώρες²⁶.

Η παρουσία υγρού στοιχείου, πριν το πρώτο 24ωρο, προκαλεί διάλυση των κατιόντων, πριν αυτά μεταναστεύσουν στη ρευστή μάζα και ενωθούν με τα υπάρχοντα πολυανιόντα για το σχηματισμό αλάτων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αναστολή του 3ου σταδίου και συγκεκριμένα τη μη φυσιολογική ενυδάτωση του υποστρώματος επί απουσία των αλάτων.

Σημαντικό ρόλο παίζει, επίσης, κατά την τέλεση της πειραματικής διαδικασίας, η διαδικασία στεγνώματος της επιφάνειας των δειγμάτων από το διαλύτη, η οποία προκαλεί απώλεια της υγρής φάσης που είναι απαραίτητη για την ενυδάτωση στο στάδιο της τελικής πήξης^{27,28}.

Άλλος παράγοντας που επηρεάζει την αυξημένη διαλυτότητα του Ketac Endo είναι η αυξημένη περιεκτικότητα σε νάτριο, το οποίο σχηματίζει υδατοδιαλυτά άλατα με τα υπάρχοντα πολυανιόντα^{27,28}.

Η αυξημένη διαλυτότητα σε όξινο περιβάλλον (διάλυμα σάλιου pH = 4,5 & 5,7)¹⁰ οφείλεται σε αλληλεπίδραση των $[H^+]$ του αντίστοιχου διαλύτη με την επιφάνεια του φυράματος. Οι Fukazawa και συν. (1987)²⁹ αναφέρουν πως η πυκνότητα των ετεροπολικών δεσμών των νεοσχηματιζόμενων αλάτων (μεταξύ Ca^{+2} , Al^{+3} και πολυανιόντων COO^- , F^-) είναι χαμηλή. Το γεγονός αυτό οδηγεί στην αντικατάσταση των Ca^{+2} , Al^{+3} με τα ιόντα $[H^+]$ του διαλύτη. Έτσι, αναστέλλεται η εξέλιξη του ζελατινώδους σταδίου και επέρχεται ταχύτερη διάλυση της επιφανειακής δομής του φυράματος.

Φυράματα σιλικονούχων παραγώγων

Τα φυράματα σιλικονούχων παραγώγων είναι από τα νεότερα χρησιμοποιούμενα φυράματα. Η σιλικόνη προσθήκης τύπου πολυβινυλοσιλοξάνης που περιέχεται στο φύραμα, χρησιμοποιείται ευρέως στην προσθετική,

ως το πιο αξιόπιστο αποτυπωτικό υλικό.

Αναφορικά με τη διαλυτότητα, τα βιβλιογραφικά δεδομένα περιορίζονται μόνο στην ερευνητική αναφορά των Schäfer & Zandbiglari (2003)¹⁰. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το φύραμα RSA (Roeco), έπειτα από 28 ημέρες, παρουσιάζει σημαντική αντίσταση στη διάλυση (0,85–1,01%), η οποία είναι λίγο μικρότερη από αυτή του AH plus (0,11–0,19%) και, κατά πολύ, μεγαλύτερη από τα φυράματα AH 26 (Dentsply Maillefer), Diaket (Espe), Aptal Harz (Speiko), Ketac Endo (Espe), Sealapex (Kerr), Apexit (Vivadent). Κατά την αντίδραση πολυμερισμού δεν παράγεται κανένα παραπροϊόν, με αποτέλεσμα την ελάχιστη επίδραση των διαλυτών στη χημική δομή του φυράματος και την ογκομετρική σταθερότητα του υλικού³⁰. Ωστόσο, απαιτείται περαιτέρω διερεύνηση για την επαρκή τεκμηρίωση της μειωμένης διαλυτότητας της συγκεκριμένης ομάδας φυραμάτων.

Συζήτηση

Η βιβλιογραφική αναφορά που προηγήθηκε, μας οδήγηε στο συμπέρασμα ότι το φαινόμενο της διάλυσης των φυραμάτων είναι αποτέλεσμα αλληλεπίδρασης των δομικών συστατικών τους με την υγρή φάση του εκάστοτε διαλύτη. Συχνά, εξαρτάται και τροποποιείται από παράγοντες, όπως το χρονικό διάστημα που το φύραμα διαβρέχεται από το διαλύτη και το είδος του χρησιμοποιούμενου διαλύτη, μέσα στο οποίο τελείται το φαινόμενο της διάλυσης.

Τα ερευνητικά δεδομένα, τα οποία τεκμηριώνονται και διασταυρώνονται, επαρκώς, υποδεικνύουν πως κάποιες ομάδες φυραμάτων πάσχουν ως προς την εκπλήρωση μιας εκ των σπουδαιότερων φυσικομηχανικών ιδιοτήτων, όπως είναι η αντίσταση στη διάλυση. Οι ομάδες φυραμάτων ZnOE, υαλοϊονομερών κονιών, Ca(OH)₂ εμφανίζουν αυξημένα ποσοστά διάλυσης, υπερβαίνοντας μάλιστα σε πολλές περιπτώσεις τα θεσπιζόμενα όρια του ISO και της ADA. Συνεπώς, απαιτείται περισσότερη έρευνα με στόχο τη βελτίωση των φυσικομηχανικών τους ιδιοτήτων. Αντιθέτως, οι ομάδες φυραμάτων εποξειδικών ρητινών, πολυκετονικών παραγώγων, σιλικονούχων παραγώγων εμφανίζουν σημαντική αντίσταση στη διάλυση, στις εκάστοτε χρονικές περιόδους των μετρήσεων, ανεξάρτητα από το είδος του διαλύτη. Τη μέγιστη αντίσταση στη διάλυση παρουσίασε το φύραμα AH plus (Dentsply Maillefer), που αποτελεί ρητινούχο φύραμα νεότερης γενιάς.

Τα ποσοτικά και ποιοτικά αποτελέσματα που έχουν εξαχθεί για τη διαλυτότητα είναι ενδεικτικά, πρέπει να αξιολογούνται μόνο σε πειραματικό επίπεδο και δεν αναπαράγουν τις συνθήκες που επικρατούν σε έναν εμφραγμένο ριζικό σωλήνα in vivo^{4,6}. Αυτό συμβαίνει διότι:

α) Ο έλεγχος για τη διαλυτότητα των δειγμάτων in vitro ξεκινά σε χρόνο μετά από την αντίδραση πήξης τους. Σε in vivo συνθήκες το φύραμα χρησιμοποιείται

αμέσως μετά την ανάμιξή του, συνεπώς η διάλυση μπορεί να συμβεί στο ριζικό σωλήνα, ακόμη και σε πολύ πρώιμο στάδιο πήξης του.

β) Σε πειραματικές συνθήκες η μεταβολή της μάζας των δειγμάτων, που προσδίδει την ένταση της διάλυσης, εξελίσσεται σε όλες τις διαστάσεις στο χώρο. Σε in vivo συνθήκες τα φυράματα παρεμβάλλονται μεταξύ γουταπέρκας και οδοντικού τοιχώματος και η διάλυσή τους μπορεί να ξεκινήσει μόνο μυλικά (μέσω επαφής με τα στοματικά υγρά στο εμφραγθέν στόμιο του ριζικού σωλήνα) ή ακρορριζικά (μέσω επαφής με τα υγρά των περιακρορριζικών ιστών διαμέσου του ακρορριζικού τρήματος).

γ) Ο Wilson (1976)² τονίζει ότι για την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων είναι καλό η πειραματική διαδικασία να είναι μακράς περιόδου και να μην περιορίζεται σε 1 ή λίγα 24ωρα, όπως συνέβη σε κάποιες περιπτώσεις.

δ) Σε in vivo συνθήκες οι παρεμβαλλόμενοι υγροί διαλύτες είναι το σάλιο και, γενικότερα, τα στοματικά υγρά και τα υγρά των περιακρορριζικών ιστών. Σε πειραματικές συνθήκες έγιναν προσπάθειες για την προσομίωσή τους με τεχνητά διαλύματα, οι οποίες, ωστόσο, στερούνταν κλινικής σημασίας και δεν ανταποκρίνονταν σε in vivo συνθήκες. Έτσι, ο συχνότερα χρησιμοποιούμενος διαλύτης ήταν το ουδέτερο διάλυμα αποσταγμένου ύδατος, όπως προβλέπουν και οι απαιτήσεις του ISO 6876 (2001) και η πρόταση No. 57 της ADA.

Άλλοι διαλύτες με τους οποίους δύνανται να έρχονται σε επαφή τα ενδοδοντικά φυράματα είναι οι χημικοί οργανικοί διαλύτες, που σε συνδυασμό με μηχανικά μέσα, χρησιμοποιούνται για την απέμφραξη ριζικών σωλήνων και την επανάληψη των ενδοδοντικών θεραπειών. Οι κυριότεροι διαλύτες είναι το χλωροφόρμιο, το ευκαλυπτέλαιο, το αλοθάνιο και η ξυλόλη. Το χλωροφόρμιο διαθέτει την ισχυρότερη διαλυτική δράση^{31,32}, ωστόσο ενοχοποιείται για την τοξική και καρκινογόνο δράση του^{33–35}. Αν και τα βιβλιογραφικά δεδομένα είναι περιορισμένα, τα ερευνητικά αποτελέσματα των Whitworth & Boursin (2000)³¹, Schäfer & Zandbiglari (2002)³² συμφωνούν ως προς το βαθμό διάλυσης των ενδοδοντικών φυραμάτων με διαλύτη το χλωροφόρμιο. Οι παραπάνω ερευνητές προσδιορίζουν το βαθμό διαλυτότητας με βάση την ποσοστιαία μεταβολή μάζας (%) των φυραμάτων για τις χρονικές στιγμές 30 sec, 1 min, 2 min, 5 min, 10 min και 20 min. Έτσι, τα φυράματα σιλικονούχων παραγώγων και υαλοϊονομερών κονιών διαθέτουν αυξημένη αντίσταση στη διάλυση. Τα φυράματα ZnOE και Ca(OH)₂ παρουσιάζουν μέση αντίσταση στη διάλυση, ενώ το σημαντικότερο βαθμό διάλυσης παρουσιάζουν τα φυράματα AH plus (Dentsply Maillefer) και Diaket (Espe), που ανήκουν στις κατηγορίες εποξειδικών και πολυκετονικών παραγώγων αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα διαφοροποιούνται, όταν χρησιμοποιείται ως διαλύτης το ευκαλυπτέλαιο. Στην

περίπτωση αυτή, τα φυράματα AH plus (Dentsply Maillefer) AH 26 (Dentsply Maillefer), Ketac Endo (Espe) παρουσιάζουν τη μέγιστη αντίσταση στη διάλυση. Τα φυράματα σιλικονούχων και πολυκετονικών παραγώγων παρουσιάζουν μέση αντίσταση στη διάλυση, ενώ το σημαντικότερο βαθμό διάλυσης παρουσιάζουν τα φυράματα Ca(OH)_2 και ZnOE ³². Μια διαφορετική προσέγγιση για την επίδραση των χημικών οργανικών διαλυτών υιοθετήθηκε από τους Erdemir και συν. (2003)³⁶, σύμφωνα με τους οποίους η διαλυτική αποτελεσματικότητα αξιολογείται με βάση το χρόνο που απαιτείται για την αφαίρεση δειγμάτων ενδοδοντικών φυραμάτων, που διαβρέχονται με χημικούς οργανικούς διαλύτες, από κυλινδρικές μήτρες με τη βοήθεια ρινών. Τα αποτελέσματα δεν έρχονται σε πλήρη συμφωνία με τα ερευνητικά δεδομένα των Whitworth και συν. (2000)³¹ και Schäfer & Zandbiglari (2002)³². Συνεπώς, απαιτείται περαιτέρω έρευνα για την εύρεση πιο βιοσυμβατών χημικών οργανικών διαλυτών, ενώ καθίσταται αναγκαία η εξεύρεση ενιαίας πειραματικής μεθοδολογίας για την τεκμηρίωση και εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων στο μέλλον.

Οι επιπτώσεις του φαινομένου της διάλυσης των ενδοδοντικών φυραμάτων μπορούν να μελετηθούν σε 3 επίπεδα: α) στην ποιότητα της ενδοδοντικής θεραπείας, β) σε τοπικό, ιστικό και ανατομικό επίπεδο στην περιοχή της στοματικής κοιλότητας, γ) στη γενική υγεία.

Σε περίπτωση που ένα φύραμα παρουσιάζει μειωμένη αντίσταση στη διάλυση, δηλαδή αυξημένη διαλυτότητα, παρατηρείται απώλεια της ογκομετρικής του σταθερότητας και ελάττωση των διαστάσεών του. Ακόμα και αν προκληθεί συρρίκνωση της τάξης του 1%, που αποτελεί ανώτατο όριο συστολής του DIS (draft international standard) και της πρότασης 57 της ADA, τότε σε φύραμα πάχους 100 nm δημιουργείται κενός χώρος εύρους 1 nm. Ο χώρος αυτός είναι επαρκής για την εγκατάσταση, πολλαπλασιασμό και διασπορά μικροβιακών πληθυσμών^{6,37}. Συνεπώς, η αυξημένη διάλυση επηρεάζει αρνητικά την αποφρακτική ικανότητα των ενδοδοντικών φυραμάτων και την ποιότητα της έμφραξης, μακροπρόθεσμα, οδηγώντας σε απώλεια της ερμητικότητάς της, αύξηση της μυλικής μικροδιδύσης, αποτυχία της ενδοδοντικής θεραπείας και πιθανή πρόκληση ή αναζωπύρωση περιακρορριζικής φλεγμονής.

Ο έλεγχος της αποφρακτικής ικανότητας των ενδοδοντικών φυραμάτων και της μικροδιδύσης έχει μελετηθεί διεξοδικά στην πορεία του χρόνου με τη βοήθεια πολυάριθμων πειραματικών μεθόδων. Ωστόσο, η έλλειψη ενιαίας πειραματικής μεθοδολογίας, οι σύνθετες πειραματικές παράμετροι που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και οι πολυπληθείς παράγοντες που συμβάλλουν στην εμφάνιση του πολυδιάστατου φαινομένου της μικροδιδύσης καθιστούν, μέχρι και σήμερα, δύσκολο να εξαχθούν ασφαλή και ενιαία συμπεράσματα. Από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας, προκύπτει

ότι η αξιολόγηση της αποφρακτικής ικανότητας των ενδοδοντικών φυραμάτων βασίζεται, κυρίως, στην σύγκριση των ερευνητικών αποτελεσμάτων διαφορετικών πειραματικών μεθόδων ελέγχου της μικροδιδύσης. Επίσης, υπάρχουν πολλές έρευνες, μέσα από τις οποίες γίνεται διερεύνηση και προσπάθειες συσχέτισης της μικροδιδύσης με παράγοντες που συμβάλλουν στην εμφάνιση ή εξέλιξη του φαινομένου, όπως είναι η παρουσία ή απουσία του smear layer (ρουπαρό οδοντικό επίχρισμα), το επιθυμητό πάχος του χρησιμοποιούμενου φυράματος και η εφαρμογή διαφορετικών τεχνικών έμφραξης των ριζικών σωλήνων. Αναφορικά με τη διαλυτότητα, οι Wu και συν. (1995)³⁸ Konradiotis και συν. (1997)³⁹, Wu και συν. (2002)⁴⁰ επισημαίνουν τη σημασία της επίδρασης του φαινομένου της διάλυσης στην αποφρακτική ικανότητα των ενδοδοντικών φυραμάτων και τον αποτελεσματικό έλεγχο της μικροδιδύσης. Παρόλο αυτά, μέχρι και σήμερα, δεν υπάρχουν βιβλιογραφικά δεδομένα που να τεκμηριώνουν ερευνητικά και πειραματικά τη συσχέτιση των δύο φαινομένων.

Οι επιπτώσεις του φαινομένου της διάλυσης σε τοπικό, ιστικό και ανατομικό επίπεδο έπονται αυτών που σχετίζονται με την αποτυχία της ενδοδοντικής θεραπείας. Η αλληλεπίδραση των φυραμάτων τόσο στο ακρορριζικό τριτημόριο της ρίζας όσο και σε περιπτώσεις υπερέμφραξης, με το υγρό εξωκυττάριο περιβάλλον των περιακρορριζικών ιστών δημιουργεί ευνοϊκές συνθήκες για τη διάλυσή τους. Η αυξημένη διαλυτότητα κάποιων φυραμάτων οδηγεί στην έκλυση διαλυτών και, συγχρόνως, τοξικών ουσιών προς τους περιακρορριζικούς και περιοδοντικούς ιστούς. Ενδεικτικά παραδείγματα είναι οι ουσίες ευγενόλη, φορμαλδεΐδη, παραφορμαλδεΐδη (και τα παράγωγά τους) και ο μόλυβδος.

Η ευγενόλη ανήκει στην κατηγορία των φαινολικών παραγώγων και συδέεται, ασταθώς, με το ZnO . Συνεπώς, είναι αναπόφευκτη η έκλυσή της μέσω του μηχανισμού διάλυσης που προαναφέρθηκε. Η τοξικότητά της είναι αιτία πρόκλησης φλεγμονής στους περιακρορριζικούς ιστούς που συνοδεύεται από άθροιση λευκοκυττάρων, τοπικές εστίες νέκρωσης και οστική απορρόφηση⁴¹⁻⁴³. Επίσης, παρατηρείται νευροτοξική δράση που ευθύνεται για την πρόκληση, τοπικά, παροδικής και αντιστρεπτής αναισθησίας και παραισθησίας. Η συγκέντρωσή της στα φυράματα ZnOE δεν είναι ικανή να επιφέρει μη αντιστρεπτή αναστολή της νευρικής αγωγιμότητας^{44,45}.

Σε προηγούμενες δεκαετίες η ευρεία χρήση φυραμάτων με την προσθήκη φορμαλδεΐδης ή παραφορμαλδεΐδης έγινε αιτία για την πρόκληση δυσάρεστων επιπλοκών. Οι παραπάνω ουσίες χρησιμοποιήθηκαν με σκοπό την εξασφάλιση αντιμικροβιακής δράσης. Σήμερα, η προσθήκη των παραπάνω ουσιών σε φυράματα έχει, σχεδόν, εγκαταλειφθεί, διότι είναι, τεκμηριωμένα, καρκινογόνες, διαθέτουν ισχυρή μεταλλαξιογόνο

δράση, προκαλούν μη αντιστρεπτές βλάβες και καταστροφή του συνδετικού ιστού και της οστικής μάζας⁴⁶⁻⁴⁸. Οι τοπικά εμφανιζόμενες νεκρωτικές περιοχές είναι αποτέλεσμα πρόκλησης φλεγμονώδους αντίδρασης και ανοσιακής απάντησης των περιακρορριζικών ιστών, που συνοδεύονται από περιχαράκωση της περιοχής με ουδετερόφιλα πολυμορφοπύρρηνα και μακροφάγα και αύξηση λεμφοκυττάρων και αντισωμάτων τύπου IgE⁴³.

Οι Brodin P. (1988)⁴⁵ και Morse DR. (1997)⁴⁹ αναφέρουν περιπτώσεις υπερέμφραξης γομφίων της κάτω γνάθου μέσα στην κοιλότητα του γναθιαίου πόρου, όπου η αυξημένη διαλυτότητα των χρησιμοποιούμενων φυραμάτων ZnOE, που περιείχαν φορμαλδεΐδη ή παραφορμαλδεΐδη και η επαφή με το κάτω φατνιακό νεύρο, αποτέλεσε αιτία πρόκλησης παραισθησίας και μη αντιστρεπτής αναστολής της νευρικής αγωγιμότητας.

Τα τελευταία χρόνια πληθαίνουν, συνεχώς, οι αναφορές για περιστατικά μη επιδρομικών τοπικών ασπεργιλλώσεων του ιγμορείου άντρου (non-invasive local aspergillus colonization of the maxillary sinus), ιδιαίτερα σε περιπτώσεις υπερέμφραξης οπισθίων δοντιών της άνω γνάθου και εξόδου φυραμάτων ZnOE, που περιέχουν φορμαλδεΐδη ή παραφορμαλδεΐδη στο βλενογόνο του ιγμορείου άντρου. Ο ασπέργιλλος αποτελεί μέρος της φυσιολογικής μικροβιακής χλωρίδας της κοιλότητας του ιγμορείου άντρου. Η, τεκμηριωμένα, αυξημένη διαλυτότητα των προαναφερθέντων φυραμάτων οδηγεί σε απελευθέρωση φορμαλδεΐδης ή παραφορμαλδεΐδης και ψευδαργύρου. Όταν στο σκοτεινό, υγρό, θερμό και με, πλούσια, οξυγόνωση περιβάλλον του ιγμορείου άντρου αρχίζουν να επικρατούν συνθήκες καταστροφής των ιστικών δομών και τοπικά εμφανιζόμενες νεκρώσεις του βλενογόνου, εξαιτίας της απελευθέρωσης φορμαλδεΐδης ή παραφορμαλδεΐδης, δημιουργείται κατάλληλο υπόβαθρο για την είσοδο, εγκατάσταση και ανάπτυξη και νέων σπόρων, που εισέρχονται μέσω της αναπνευστικής οδού. Η εγκατάσταση και ο πολλαπλασιασμός του ασπεργίλλου ευνοείται, επίσης, εξαιτίας του ψευδαργύρου που εκλύεται από το διαλυόμενο φύραμα ZnOE. Η ασπεργίλλωση του ιγμορείου άντρου οφείλεται, κυρίως, στον *A.fumigatus* και εξελίσσεται στην πλούσια, σε ψευδάργυρο, περιοχή, γύρω από το ξένο σώμα του εμφρακτικού υλικού⁵⁰⁻⁵².

Συχνά, η έκλυση διαλυτών τοξικών ουσιών, μέσω της διάλυσης των φυραμάτων, δεν περιορίζεται στα ανατομικά όρια της στοματοπροσωπικής περιοχής, αλλά επεκτείνεται αρχικά με το τοπικό τριχοειδικό δίκτυο και μετέπειτα με τα μεγάλα αγγεία στη συστηματική κυκλοφορία. Μάλιστα, είναι τεκμηριωμένη η συστηματική διασπορά και η αθροιστική τους βιοσυσσώρευση σε πολλά όργανα του ανθρωπίνου σώματος. Οι Block και συν. (1980)⁵³ και οι Hata και συν. (1989)⁵⁴ διεξήγαγαν ενδοδοντικές θεραπείες σε πειραματόζωα

με τη χρήση φυραμάτων που περιείχαν φορμαλδεΐδη και παραφορμαλδεΐδη ραδιοσημασμένες με ¹⁴C. Έπειτα από κάποιο χρονικό διάστημα τελέσθηκαν βιοψίες από διάφορα όργανα και ακολούθησαν ιστοπαθολογικές και ραδιοϊσοτοπικές αναλύσεις. Τα αποτελέσματα έδειξαν αυξημένες συγκεντρώσεις φορμαλδεΐδης και παραφορμαλδεΐδης σε γειτονικά λεμφογάγγλια, στο ήπαρ, στους νεφρούς και στους πνεύμονες και χαμηλότερες συγκεντρώσεις στο σπλήνα, στην καρδιά και στον εγκέφαλο.

Παρόμοια πειραματικά πρωτόκολλα ακολουθήθηκαν προγενέστερα από τους Oswald & Cohn (1975)⁵⁵ και Chong & Senzer (1976)⁵⁶ με σκοπό τον έλεγχο συστηματικής διασποράς της ουσίας ²¹⁰PbO (οξειδίο του μολύβδου), η οποία περιείχονταν σε φυράματα της εποχής. Τα αποτελέσματα έδειξαν αυξημένες συγκεντρώσεις ²¹⁰PbO στα νεφρά, στο ήπαρ, στο σπλήνα, στα επινεφρίδια, στο μηριαίο οστό και στα πλευρά. Ο μολύβδος παρεμβαίνει στη λειτουργία των νευρομυϊκών συνάψεων αναστέλλοντας την έκκριση ακετυλοχολίνης και διεγείρει την πρόκληση μικροκυτταρικής υποχρωμικής αναιμίας με την ανασταλτική του δράση στη σύνθεση των αιμοποιητικών στοιχείων του αίματος⁵⁷. Επίσης, η αυξημένη συσσώρευση του μολύβδου στα λυσοσώματα αποδιοργανώνει και μειώνει τη σταθερότητα της μεμβράνης τους⁵⁸. Τέλος, είναι γνωστή η μεταλλαξιόγonos δράση του σε βάρος των χρωμοσωμάτων⁵⁹.

Η αυξημένη διαλυτότητα των ενδοδοντικών φυραμάτων συνδέεται με την πρόκληση αναφυλακτικών αλλεργικών αντιδράσεων σε ευαισθητοποιημένα άτομα, μέσω διάλυσης δυνητικά αλλεργιογόνων ουσιών και διασποράς τους στην τοπική και συστηματική κυκλοφορία. Μάλιστα υπάρχουν πολλές βιβλιογραφικές αναφορές για την εμπλοκή της φορμαλδεΐδης σε τέτοια είδη αντιδράσεων⁶⁰⁻⁶⁵. Η αλλεργιογόνος δράση της φορμαλδεΐδης οφείλεται στην ικανότητα σύνδεσής της με λευκωματίνες του ορού του πλάσματος, αποκτώντας ολοκληρωμένη αντιγονική δράση, με αποτέλεσμα να παρατηρούνται αυξημένοι τίτλοι ανοσοσφαιρινών IgE στο αίμα και κλινικά συμπτώματα, όπως δυσφορία, ταχυκαρδία, οίδημα, ερύθημα στα άνω άκρα, δύσπνοια, υπόταση, διάρροια, τάση για έμετο, ναυτία.

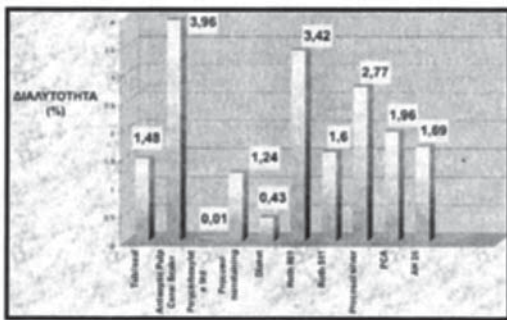
Πρόσφατα έγινε περιγραφή 3 περιστατικών του νευροδερμικού συνδρόμου NCS (neurocutaneous syndrome)⁶⁶. Η εμφάνιση του συνδρόμου συνέβη σε ασθενείς που υπεβλήθησαν σε ενδοδοντική θεραπεία, όπου χρησιμοποιήθηκαν φυράματα Ca(OH)₂. Η, τεκμηριωμένα, αυξημένη διαλυτότητά τους επιδρά και στην απελευθέρωση ουσιών που περιέχονται σε αυτά, όπως τα σουλφοναμίδια και το τολουένιο. Ασθενείς που ήταν ευαισθητοποιημένοι στα σουλφοναμίδια εμφάνισαν συμπτώματα του συνδρόμου NCS: αλλαγές στα αριθμητικά επίπεδα των κυττάρων του αίματος, φωτοευαισθησία, επώδυνες ελκώσεις αλλεργικής αιτιολογίας, μεταβολές στη φυσιολογική μικροβιακή χλωρίδα, ερυθρότητα

τα, αίσθημα κνίδωσης, απώλεια μνήμης και συγκέντρωσης, βλάβες στο νευρικό σύστημα και το ήπαρ.

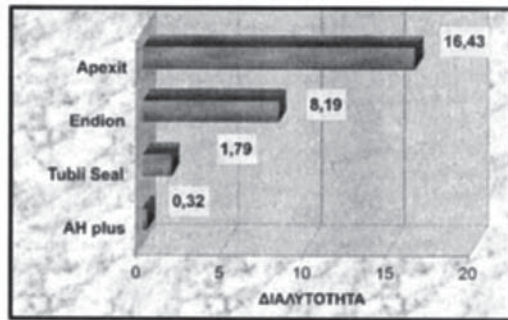
Συμπεράσματα

- Το φαινόμενο της διάλυσης των ενδοδοντικών φυραμάτων είναι αποτέλεσμα αλληλεπίδρασης των δομικών συστατικών τους με την υγρή φάση του εκάστοτε διαλύτη και, συχνά, εξαρτάται και τροποποιείται από το είδος του και το χρονικό διάστημα διαβροχής των φυραμάτων.
- Η αξιολόγηση της διαλυτότητας in vitro, δεν επιτρέπει την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων σε σχέση με τις συνθήκες διάλυσης που δύνανται να επικρατούν σε έναν εμφραγμένο ριζικό σωλήνα.
- Οι κατηγορίες φυραμάτων εποξειδικών ρητινών, πολυκετονικών παραγώγων και σιλικονούχων παραγώγων εμφανίζουν σημαντική αντίσταση στη διάλυση. Το, νεότερης γενιάς, ρητινούχο φύραμα AH plus (Dentsply Maillefer) παρουσιάζει τη μέγιστη αντίσταση στη διάλυση.

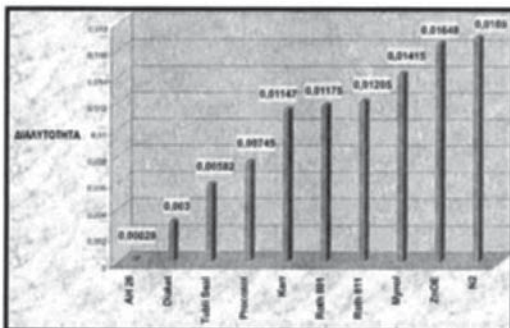
- Οι κατηγορίες φυραμάτων ZnOE, Ca(OH)₂ και υαλοϊονομερούς κόνιας εμφανίζουν μειωμένη αντίσταση στη διάλυση και σε πολλές περιπτώσεις ξεπερνούν τα θεσπιζόμενα όρια διάλυσης του ISO και της ADA.
- Δεν υπάρχουν επαρκή ερευνητικά δεδομένα για την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων, αναφορικά με την επίδραση των χημικών οργανικών διαλυτών στο βαθμό διάλυσης των ενδοδοντικών φυραμάτων.
- Η διάλυση των ενδοδοντικών φυραμάτων επηρεάζει αρνητικά της πρόγνωση μιας ενδοδοντικής θεραπείας.
- Η διάλυση ορισμένων ενδοδοντικών φυραμάτων οδηγεί στην έκλυση διαλυτών και τοξικών ουσιών, οι οποίες δύνανται να προκαλέσουν επιπλοκές με εκδηλώσεις είτε στα ανατομικά όρια της στοματικής κοιλότητας είτε, συστηματικά, αφορώντας τη γενική υγεία.



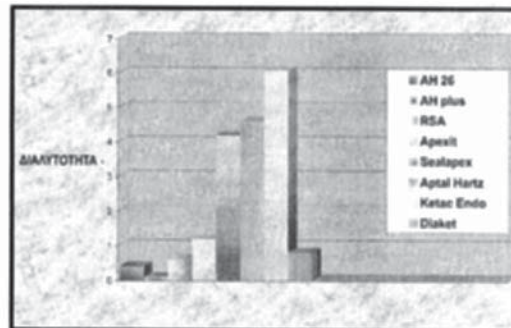
McComb και συν. (1976). Διαλυτότητα (ποσοστιαία μεταβολή μάζας %) μετά από 1 εβδομάδα.



McMichen και συν. (2003). Διαλυτότητα (ποσοστιαία μεταβολή μάζας %) μετά από 12 εβδομάδες.



Grossman (1978). Διαλυτότητα (μεταβολή μάζας σε γραμμάρια) μετά από 1 εβδομάδα.



Schäfer & Zandbiglari (2003). Διαλυτότητα (ποσοστιαία μεταβολή μάζας %) μετά από 24h – ISO 6876 (2001)

Βιβλιογραφία

1. Γιαννακουδάκης ΔΑ, Μανουσάκης ΓΕ. Γενική και ανόργανος χημεία. Θεσσαλονίκη 1975; 166-8.
2. Wilson AD. Specification test for the solubility and disintegration of dental cements: a critical evaluation of its meaning. *J Dent Res* 1976; 55:721-9.
3. Kazemi RB, Safavi KE, Spangberg LSW. Dimensional changes of endodontic sealers. *Oral Surg* 1993; 76:766-71.
4. Kaplan AE, Goldberg F, Artaza LP, De Silvio A, Macchi RL. Disintegration of endodontic cements in water. *J Endod* 1997; 23:439-41.
5. McMichen FRS, Pearson G, Rahbaran S, Gulabivala K. A comparative study of selected physical properties of five root canal sealers. *Int Endod J* 2003; 36:629-35.
6. Carvalho Junior JR, L.Guimaraes LF, Correr-Sobrinho L, D. Pecora J, D. Sousa-Neto M. Evaluation of solubility, disintegration and dimensional alterations of a glass ionomer root canal sealer. *Braz Dent J* 2003; 14(2):114-8.
7. Higginbotham TL. A comparative study of the physical properties of five commonly used root canal sealers. *Oral Surg* 1967; 24:89-101.
8. Grossman LI. Solubility of root canal cements. *J Dent Res* 1978; 57:927.
9. Ahlberg KMF, Tay WM. A methacrylate-based cement used as a root canal sealer. *Int Endod J* 1998; 31:15-21.
10. Schäfer E, Zandbiglari T. Solubility of root canal sealers in water and artificial saliva. *Int Endod J* 2003; 36:660-9.
11. Αποστολόπουλος ΞΑ. Προληπτική Οδοντιατρική. Αθήνα, Εκδόσεις Συμμετρία, 1996; 198-9.
12. McComb D, Smith DC. Comparison of physical properties of polycarboxylate-based and conventional root canal sealers. *J Endod* 1976; 2:228-35.
13. Savioli RN. Study of the influence of each chemical component of Grossman cement on its physical properties. Master's Thesis. Ribeirão Preto: University of São Paulo 1992: 1-123.
14. Savioli RN. Avaliação das propriedades físico-químicas de alguns cimentos endodônticos. [Doctoral thesis]. Ribeirão Preto: Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo; 1998, p. 62.
15. Wilson AD, Batchelor RF. Zinc oxide-eugenol cements. Study of erosion and disintegration. *J Dent Res* 1970; 49:593-8.
16. Holland R, Souza V. Ability of a new calcium hydroxide root canal filling material to induce hard tissue formation. *J Endod* 1985; 11:535-43.
17. Leonardo MR, Silva LA, Utrilla LS, Assed S, Ether SS. Calcium hydroxide root canal sealers-histopathologic evaluation of apical and periapical repair after endodontic treatment. *J Endod* 1997; 23:428-32.
18. Tronstad L, Birkeland JM. In vitro studies on the influence of cements on the alkaline effect of calcium hydroxide. *Scand J Dent Res* 1971; 79(5):350-5.
19. Tronstad L, Andreassen JO, Hasselgren G, Kristerson L, Riis J. pH changes in dental tissues after root canal filling with calcium hydroxide. *J Endod* 1980; 7:17-21.
20. Fuss Z, Weiss EI, Shalham M. Antibacterial activity of calcium hydroxide containing endodontic sealers on *Enterococcus faecalis* in vitro. *Int Endod J* 1997; 30(6):397-402.
21. Caisedo R, von Fraunhofer JA. The properties of endodontic sealer cements. *J Endod* 1988; 14:527-34.
22. Tagger M, Tagger E, Kfir A. Release of calcium and hydroxyl ions from set endodontic sealers containing calcium hydroxide. *J Endod* 1988; 14:588-91.
23. Allan NA, Walton RE, Schäfer M. Setting times for endodontic sealers under clinical usage and in vitro conditions. *J Endod* 2001; 27:421-3.
24. Lee H. Lee Endo-Fill. Endodontic sealant and filling resin, questions and answer sheet. Siuth El Monte, California: Lee Pharmaceuticals 1985; 1-7.
25. Spangberg LSW, Barbosa SV, Lavigne GD. AH 26 releases formaldehyde. *J Endod* 1993; 19:596-8.
26. Wilson AD, McLean JW. Clinical uses, glass ionomer cements, Quintessence Publishing, Chicago, 1988, pp.131-9.
27. Crisp S, Lewis BG, Wilson AD. Characterization of glass ionomer cements, part 6. A study of erosion and water absorption in both neutral and acidic media. *J Dent* 1980; 8:68-74.
28. Gauston BE. The physico-mechanical consequences of exposing glass ionomer cements to water during setting. *Biomater* 1981; 2:112-5.
29. Fukazawa M, Matsuya S, Yamane M. Mechanism for erosion of glass ionomer cements in an acidic buffer solution. *J Dent Res* 1987; 66:1770-4.
30. Brown D. Factors affecting the dimensional stability of elastic impression materials. *J Dent* 1971; 1:265-74.
31. Whitworth JM, Boursin EM. Dissolution of root canal sealer cements in volatile solvents. *Int Endod J* 2000; 33(1):19-24.
32. Schäfer E, Zandbiglari T. A comparison of the effectiveness of chloroform and eucalyptus oil in dissolving root canal sealers. *Oral Surg Med Path Rad Endod* 2002; 93: 611-6.
33. Reuber MD. Carcinogenicity of chloroform. *Environ Health Perspect* 1979; 31:171-82.
34. Barbosa SV, Burkard DH, Spangberg LSW. Cytotoxic effects of gutta-percha solvents. *J Endod* 1994; 20:6-8.
35. Lynge E, Anttila A, Hemminki K. Organic solvents and cancer. *Cancer Causes Control* 1997; 8:406-19.
36. Erdemir A, Adanir N, Belli S. In vitro evaluation of the dissolving effect of solvents on root canal sealers. *J Oral Sci* 2003; 45(3):123-6.
37. Ørstavik D, Nordahl I, Tibbals J. Dimensional change following setting of root canal sealer materials. *Dent Mat* 2001; 17:512-9.
38. Wu MK, Wesselink PR, Boersma J. A 1-year follow-up study on leakage of four root canal sealers at different thicknesses. *Int Endod J* 1995; 28(4):185-9.
39. Kontakiotis EG, Wu MK, Wesselink PR. Effect of sealer thickness on long-term sealing ability : a 2-year

- follow-up study. *Int Endod J* 1997; 30(5): 307-12.
40. Wu MK, Tigos E, Wesselink PR. An 18-month longitudinal study on a new silicon-based sealer RSA Roecoseal. A Leakage study in vitro. *Oral Surg Med Path Rad Endod* 2002; 94:499-502.
 41. Coolidge ED. Reaction of dog tissue to drugs used in root canal treatment. *JADA* 1932; 19:747-55.
 42. Gulati N, Chandra S, Aggarwal PK, Jaisval JN, Singh M. Cytotoxicity of eugenol in sealer containing zinc oxide. *Endod Dent Traumat* 1991; 7:181-5.
 43. Bratel J, Jontell M, Dahlgren U, Bergenholtz G. Effects of root canal sealers on immunocompetent cells in vitro and in vivo. *Int Endod J* 1998; 31:178-88.
 44. Gurney FG. Eugenol- utility versus toxicity. *Oral Hyg.*1965; 55:74-82.
 45. Brodin P. Neurotoxic and analgesic effects of root canal cements and pulp protectioning dental materials. *Endod Dent Traumat* 1988; 4:1-11.
 46. Lewis BB. Formaldehyde in dentistry:a review of mutagenic and carcinogenic potential. *JADA* 1981; 103(3):429-34.
 47. Ranly DM. Assesment of the systemic distribution and toxicity of formaldehyde following pulpectomy treatment, Part 1. *J Dent Child* 1985; 52(6):431-4.
 48. Lewis BB. Formaldehyde in dentistry:a review for the millennium. *J Clin Ped Dent* 1998; 22(2):167-77.
 49. Morse DR. Endodontic-related inferior alveolar nerve and mental foramen paresthesia. *Compend. Contin. Educ. Dent.* 1997; 18:963-78.
 50. Odell E, Pertl C. Zinc as a growth factor for *Aspergillus* sp. and the antifungal effects of root canal sealants. *Oral Surg Med Path Rad Endod* 1995; 79(1):82-7.
 51. Beck-Mannagetta J. Zinc and aspergillus. *Oral Surg* 1996; 81:138-40.
 52. Martins WD, Ribeiro Rosa EA. Aspergillosis of the maxillary sinus: review and case report. *Scand J Inf Dis* 2004; 36(10):758-61.
 53. Block RM, Lewis RD, Hirsch J, Coffey J, Langeland K. Systemic distribution of N2 paste containing ¹⁴C paraformaldehyde following root canal therapy in dogs. *Oral Surg* 1980; 50(4):350-60.
 54. Hata G, Nishikawa J, Kawazoc S, Toda T. Systemic distribution of ¹⁷C-labeled formaldehyde applied in the root canal following pulpectomy. *J Endod* 1989; 15:539-43.
 55. Oswald RJ, Cohn SA. Systemic distribution of lead from root canal fillings. *J Endod* 1975; 1(2):59-63.
 56. Chong R, Senzer J. Systemic distribution of ²¹⁰PbO from root canal fillings. *J Endod* 1976; 2(12):381-4.
 57. Kostial K, Vouk VB. Lead ions and synaptic transmission in the superior cervical ganglion of the cat. *J Pharmac* 1957; 12:219.
 58. Brun A, Brunk U. Lead induced injury on in vitro cultured rat fibroblasts. A histochemical study. *Histochemie* 1973; 35:227.
 59. Muro LA, Goyer RA. Chromosome damage in experimental lead poisoning. *Arch Pathol* 1969; 87(6):660-3.
 60. Ebner H, Kraft D. Formaldehyde-induced anaphylaxis after dental treatment? *Cont Derm* 1991; 24:307-9.
 61. Candura F. Formaldehyde-induced anaphylaxis after dental treatment (letter, comment)? *Cont Derm*1991; 25:335.
 62. Wantke F, Hemmer W, Halgmüller T, Götz M, Jarisch R. Anaphylaxis after dental treatment with a formaldehyde containing tooth-filling material. *Allergy* 1995; 50:274-6.
 63. Haikel Y, Braun JJ, Zana H, Boukari A, de Blay. Anaphylactic shock during endodontic treatment due to allergy to formaldehyde in a root canal sealant (case report). *J Endod* 2000; 26(9):529.
 64. Modre B, Kranke B. Anaphylactic reaction to formaldehyde. *Allergy* 2001; 56:263-4.
 65. Braun JJ, Zana H, Purohit A, Valfrey J, Scherer Ph, Haikel Y, de Blay F, Pauli G. Anaphylactic reactions to formaldehyde in root canal sealant after endodontic treatment: four cases of anaphylactic shock and three of generalized urticaria. *Allergy* 2003; 58:1210-5.
 66. Amin O.M. On the diagnosis and management of neurocutaneous syndrome (NCS), a toxicity disorder from dental sealants. *Explore* 2003; 12(6):21-5.