

## Σύγχρονα μηχανοκίνητα συστήματα NiTi. Αξιολόγηση της αποτελεσματικότητάς τους και των παραγόντων που την επηρεάζουν

ΤΡ. ΒΟΥΖΑΡΑ<sup>1</sup>

### Current rotary NiTi systems.

### Assessment of their effectiveness and factors that affect it.

TR. VOUZARA<sup>1</sup>

#### Περίληψη

Στις αρχές της δεκαετίας του 1990, τα μηχανοκίνητα συστήματα NiTi προτάθηκαν για πρώτη φορά στην κλινική πράξη της Ενδοδοντίας. Αποτελούνται από κράμα NiTi, που χαρακτηρίζεται από υπερελαστικότητα. Το γεγονός αυτό δίνει τη δυνατότητα να κατασκευαστούν μικροεργαλεία με κωνικότητα μεγαλύτερη από 2%. Σκοπός της παρούσας ανασκόπησης είναι να παρουσιαστούν τα κυριότερα σύγχρονα μηχανοκίνητα συστήματα, ν' αξιολογηθεί η διάδοσή τους στην κλινική πράξη και να διερευνηθεί η αποτελεσματικότητά τους ως προς τη μορφολογία του τοιχώματος του ριζικού σωλήνα, την καθαρότητα του ριζικού σωλήνα, την πιθανότητα παρέκκλισης από την αρχική πορεία του σωλήνα, την πιθανότητα θραύσης μικροεργαλείου και την επανάληψη ενδοδοντικής θεραπείας. Η διάδοση των μηχανοκίνητων συστημάτων είναι περιορισμένη στους γενικούς οδοντίατρους, σε αντίθεση με τους εξειδικευμένους ενδοδοντιστές. Ως προς τη μορφολογία του τοιχώματος του ριζικού σωλήνα, η αποτελεσματικότητα των μηχανοκίνητων συστημάτων είναι αρκετά ικανοποιητική, καθώς παρασκευάζουν πιο λείο τοίχωμα σε σχέση με τις ρίνες χειρός. Οι παράγοντες της καθαρότητας του ριζικού σωλήνα και της παρέκκλισης από την αρχική πορεία του ριζικού σωλήνα χρειάζονται περισσότερη διερεύνηση, προκειμένου να υπάρξουν σαφή συμπεράσματα. Σημαντική αδυναμία των μηχανοκίνητων συστημάτων, είναι η αυξημένη πιθανότητα θραύσης, που επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες. Τέλος, τα μηχανοκίνητα συστήματα είναι χρήσιμα στην επανάληψη ενδοδοντικής θεραπείας, εφ' όσον είναι ταχύτερα από τα χειροκίνητα στην αφαίρεση παλιάς έμφραξης.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: επανάληψη ενδοδοντικής θεραπείας, θραύση μικροεργαλείου, καθαρότητα ριζικού σωλήνα, μηχανοκίνητα συστήματα NiTi.

#### Summary

Rotary NiTi instruments were introduced in clinical practice at early '90s. They are made of NiTi alloy, that is well-known for its superelasticity. Because of this feature, files with taper over 2% can be constructed. The purpose of this review is to describe the current rotary NiTi instruments and their uptake within dentists. It also describes their effectiveness in root canal shaping, retreatment and root canal cleanliness, the possibility of root canal transportation and the factors related to the fracture of a file. The diffusion of rotary NiTi instruments is limited among general practitioners. On the contrary, the use of rotary NiTi instruments is widespread in specialized endodontists. Rotary NiTi instruments are rather effective in root canal shaping, because they prepare smoother canal walls than manual files do. As far as cleaning effectiveness and root canal transportation are concerned, established conclusions cannot be inferred yet. The above two issues need further investigation. A significant shortcoming of rotary NiTi instruments is that there is a great probability of intracanal fracture. This potential can be affected by several factors. Finally, rotary NiTi instruments are considerably useful during the procedure of retreatment, as they remove the old obturation materials more rapidly than the manual techniques do.

KEY WORDS: endodontic retreatment, fracture of microinstrument, root canal cleanliness, NiTi rotary systems.

## Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια τα μηχανοκίνητα εργαλεία έχουν αρχίσει να χρησιμοποιούνται ευρέως. Η χρήση τους, όμως, στην προπαρασκευή των ριζικών σωλήνων ξεκινάει αρκετά πιο παλιά. Η πρώτη χειρολαβή για ενδοδοντική χρήση κατασκευάστηκε, το 1889, από τον William H. Rollins. Ειδικές βελόνες τοποθετούνταν στη χειρολαβή και περιστρέφονταν 360° με ταχύτητα μέχρι 100 rpm, ώστε να αποφευχθεί το ενδεχόμενο θραύσης της βελόνας. Το 1928, δημιουργήθηκε το Cursor filing contra-angle από την αυστριακή εταιρεία W&H, που συνδύαζε περιστροφική και κάθετη κίνηση. Από τότε αναπτύχθηκαν διάφορα συστήματα, που χρησιμοποιούσαν ρίνες από ανοξείδωτο χάλυβα. Από το 1970 και μετά ξεκίνησαν και οι προσπάθειες για συσκευές που λειτουργούσαν με υπέρηχους ή laser<sup>1</sup>. Τέλος, το 1988 ο Wallia πρότεινε το NiTi (κράμα νικελίου-τιτανίου) ως κατάλληλο υλικό για ρίνες χειρός αρχικά, και στις αρχές του 1990 η τεχνολογία NiTi χρησιμοποιήθηκε στην κατασκευή περιστρεφόμενων εργαλείων προπαρασκευής ριζικών σωλήνων<sup>2</sup>. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός, ότι οι συσκευές αυτές λειτουργούν κάνοντας περιστροφή 360° με χαμηλές ταχύτητες, κάτι που μας παραπέμπει στις αρχές που υιοθέτησε πρώτος ο Rollins το 1889<sup>1</sup>.

Το κράμα NiTi αποτελείται από 55% νικέλιο και 45% τιτάνιο. Οι χαρακτηριστικές του ιδιότητες, που αφορούν την ενδοδοντική θεραπεία, είναι η υπερελαστικότητα, η μνήμη σχήματος και η αντοχή στην κυκλική κόπωση. Το ελαστικό όριο σε κάμψη και στρέψη είναι 2-3 φορές μεγαλύτερο σε σύγκριση με το χάλυβα, η μνήμη σχήματος εμποδίζει τη μόνιμη παραμόρφωση και η αντοχή στην κυκλική κόπωση επιτρέπει εκατοντάδες στρέψεις του εργαλείου χωρίς να σπάει συγκριτικά με τα εργαλεία από ανοξείδωτο χάλυβα, που αντέχουν μόνο μικρό αριθμό στρέψεων. Οι ιδιότητες αυτές έδωσαν τη δυνατότητα να κατασκευαστούν μηχανοκίνητα εργαλεία NiTi με κωνικότητα μεγαλύτερη από 2%, που είναι ο κανόνας για τα εργαλεία από ανοξείδωτο χάλυβα. Επιπρόσθετα, συνέβαλαν στην αποτελεσματική προπαρασκευή κεκαμμένων ριζικών σωλήνων<sup>1,3</sup>.

Ο σχεδιασμός των ρινών NiTi ποικίλλει ανάμεσα στα διάφορα συστήματα ως προς την κωνικότητα, το σχήμα της εγκάρσιας διατομής, το μέγεθος του κοπτικού άκρου και την κλίση των ελίκων. Οι ρίνες αυτές τοποθετούνται σε κατάλληλες χειρολαβές, που συνδέονται με ειδικές συσκευές ή αλλιώς μικρομότορ. Τα μικρομότορ λειτουργούν με μειωμένες ταχύτητες και ελεγχόμενη χαμηλή ροπή στρέψης, ρυθμισμένη ξεχωριστά για κάθε ρίνη, ώστε να παραμένει κάτω από το όριο ελαστικότητας και να αποφεύγεται το σπάσιμο. Τα τελευταίας γενιάς μικρομότορ έχουν επιπρόσθετα χαρακτηριστικά,

όπως εντοπιστή ακρορριζίου και διάφορες αυτοματοποιημένες λειτουργίες<sup>1</sup>. Στα περισσότερα συστήματα NiTi χρησιμοποιείται η τεχνική crown down, σύμφωνα με την οποία η διεύρυνση ξεκινάει μυλικά με ρίνες μεγάλης κωνικότητας και προχωράει ακρορριζικά με ρίνες μικρότερης κωνικότητας. Βέβαια, είναι σημαντικό να εξασφαλίζεται η διαβατότητα του ριζικού σωλήνα με μικρού μεγέθους ρίνες χειρός. Οι περισσότεροι κατασκευαστές συνιστούν κίνηση χωρίς πίεση, προκειμένου να αποφευχθεί η ενσφήνωση και η συγκέντρωση τάσεων που οδηγεί σε θραύση του μικροεργαλείου. Επίσης, προτείνεται ο συνδυασμός διαφορετικών τεχνικών και συστημάτων NiTi ανάλογα με τις εξατομικευμένες ανάγκες της κάθε περίπτωσης.

Στην παρούσα ανασκόπηση, θα γίνει προσπάθεια να παρουσιαστούν τα κυριότερα μηχανοκίνητα συστήματα NiTi, τα οποία χρησιμοποιούνται σήμερα στην ενδοδοντία, να αξιολογηθεί η διάδοσή τους στην κλινική πράξη, καθώς και να συγκριθεί η αποτελεσματικότητά τους σε σχέση με τις ρίνες χειρός αλλά και μεταξύ τους. Οι παράγοντες που θα εξεταστούν είναι η καθαρότητα και η μορφολογία του τοιχώματος του ριζικού σωλήνα μετά την προπαρασκευή, η δυνατότητά τους να διευρύνουν ολόκληρο το ριζικό σωλήνα, η ικανότητά τους να διατηρούν την ανατομικότητα του ριζικού σωλήνα, η συχνότητα θραύσης και τέλος η αποτελεσματικότητά τους σε αφαίρεση παλιάς έμφραξης. Βέβαια, καλό θα ήταν ν' αναφερθεί ότι στη βιβλιογραφία υπάρχει μικρός αριθμός κλινικών ερευνών. Αυτό αντισταθμίζεται από την ύπαρξη πληθώρας in vitro ερευνών, που όμως ποικίλλουν ως προς τη μεθοδολογία και το σχεδιασμό και αυτό δυσχεραίνει τη σύγκριση των αποτελεσμάτων και περιορίζει την εξαγωγή απόλυτων συμπερασμάτων.

### **Διάδοση της χρήσης των μηχανοκίνητων συστημάτων.**

Αρκετά χρόνια έχουν περάσει από την εισαγωγή των μηχανοκίνητων συστημάτων στην ενδοδοντία και μέχρι τώρα σημαντικές βελτιώσεις έχουν γίνει στα χαρακτηριστικά τους. Όμως, παρά το γεγονός ότι υπόσχονται μείωση του χρόνου προπαρασκευής και αύξηση της ποιότητας του αποτελέσματος, η διάδοσή τους στην καθημερινή κλινική πράξη δεν είναι η αναμενόμενη. Συγκεκριμένα, οι Parashos και Messer<sup>4,5</sup> αναφέρουν ότι μόνο το 22% των γενικών οδοντιάτρων χρησιμοποιεί τα μηχανοκίνητα συστήματα σε αντίθεση με τους εξειδικευμένους ενδοδοντιστές, που τα προτιμούν σε ποσοστό 64%. Οι κύριοι λόγοι απόρριψης φαίνεται να είναι: η έλλειψη εκπαίδευσης και εξοικείωσης, ο φόβος ενδεχόμενης θραύσης μέσα στο ριζικό σωλήνα, η δυσκολία στη χρήση, η δυσκολία εκμάθησης της τεχνικής<sup>4,5</sup>, η

αποτελεσματικότητα παλιότερων τεχνικών, η πεποίθηση ότι τα μηχανοκίνητα εργαλεία δεν προσφέρουν επιπρόσθετο κέρδος και, τέλος, οι αρνητικές συστάσεις από συναδέλφους<sup>6,7</sup>. Είναι γεγονός, ότι υπάρχει επιφυλακτικότητα από τους κλινικούς ως προς την υιοθέτηση των νέων συστημάτων. Ταυτόχρονα, όμως, υπάρχει έντονο ενδιαφέρον εκπαίδευσης στις νέες τεχνικές μέσα από σεμινάρια που οργανώνονται είτε από πανεπιστήμια είτε από ιδιωτικές εταιρείες. Μάλιστα, η συμμετοχή σε πρακτικά σεμινάρια ενθαρρύνει τη χρήση των μηχανοκίνητων συστημάτων πολύ πιο αποτελεσματικά απ' ό,τι η παρακολούθηση μόνο διαλέξεων<sup>7</sup>. Αντίστοιχες έρευνες σε προπτυχιακούς φοιτητές παρουσιάζουν παρόμοια αποτελέσματα. Οι φοιτητές, μετά από την επαφή τους με τις νέες τεχνικές σε εργαστηριακό επίπεδο, αναγνώρισαν την ανωτερότητά τους σε ταχύτητα και αποτελεσματικότητα σε σχέση με τα εργαλεία χειρός. Παρ' όλα αυτά, δίστασαν να τις χρησιμοποιήσουν σε κλινικό επίπεδο από φόβο ενδορριζικής θραύσης μικροεργαλείου<sup>8,9</sup>. Υπάρχει η άποψη ότι η εισαγωγή της διδασκαλίας των νέων τεχνολογιών σε προπτυχιακό επίπεδο θα αυξήσει σημαντικά τη διάδοσή τους στις νέες γενιές οδοντιάτρων<sup>8-11</sup>.

### Σύγχρονα μηχανοκίνητα συστήματα

Στις αρχές της δεκαετίας 1990 ξεκίνησε η παραγωγή των μηχανοκίνητων συστημάτων NiTi που χρησιμοποιούνται στην ενδοδοντία. Τα κυριότερα μηχανοκίνητα εργαλεία που κυκλοφορούν τα τελευταία χρόνια είναι τα ακόλουθα: LightSpeed, ProFile, GT, Hero, ProTaper, FlexMaster, RaCe, K3, Mtwo, TF<sup>3</sup>.

#### **LightSpeed** (LightSpeed Technology Inc., San Antonio, TX, USA)

Είναι ένα από τα πρώτα μηχανοκίνητα συστήματα που κατασκευάστηκαν και συνεχίζει να χρησιμοποιείται. Κύρια χαρακτηριστικά του, το αποστρωγγυλεμένο μη κοπτικό άκρο, το μικρό μήκος λεπίδας (0,25-2 mm) και ο πολύ λεπτός άξονας που προσφέρει ελαστικότητα και δυνατότητα εργασίας σε υψηλές στροφές (1500-2000 rpm) ακόμα και σε κεκαμμένους ριζικούς σωλήνες. Η εγκάρσια διατομή του κοπτικού τμήματος εμφανίζει 3 στρόγγυλες υποσκαφές, αυτός είναι ο σχεδιασμός σχήματος U που χαρακτηρίζει τα εργαλεία NiTi πρώτης γενιάς<sup>3,12</sup>.

#### **Profile** (Dentsply Maillefer Ballaigues, Switzerland)

Τα μηχανοκίνητα εργαλεία Profile εμφανίστηκαν στις αρχές της δεκαετίας 1990 καινοτομώντας στην ενδοδοντία, καθώς ήταν τα πρώτα με κωνικότητα μεγαλύτερη από 2% και αυτά που εισήγαγαν την τεχνική Crown-Down. Σε εγκάρσια διατομή φαίνεται ο σχεδιασμός σε σχήμα U. Αυτό το χαρακτηριστικό

σε συνδυασμό με την ουδέτερη έως αρνητική κλίση των ελίκων συντελεί στην ήπια αποτριβή και λείανση της οδοντίνης στο ριζικό τοίχωμα. Επίσης, οι αύλακες κατά μήκος του κοπτικού τμήματος είναι βαθιές κι αυτό προσφέρει ελαστικότητα, αλλά και χώρο για την απομάκρυνση των ξεσμάτων οδοντίνης. Το μη κοπτικό άκρο εξασφαλίζει καλύτερο έλεγχο της πορείας του εργαλείου μέσα στο ριζικό σωλήνα κι αυτό βοηθάει στη διατήρηση της ανατομικότητας του ριζικού σωλήνα μετά την προπαρασκευή<sup>3,13</sup>. Τέλος, το σύστημα δουλεύει σε χαμηλές ταχύτητες 150-300 rpm<sup>13</sup>.

#### **Prosystem GT** (Dentsply, Maillefer, Tulsa, OK)

Το σύστημα GT ανήκει, επίσης, στην πρώτη γενιά μηχανοκίνητων εργαλείων. Το κοινό τους χαρακτηριστικό είναι ότι σε εγκάρσια τομή έχουν σχήμα U και ότι οι λεπίδες είναι επίπεδες και όχι οξύαιχμες. Αυτό προσδίδει περισσότερη ασφάλεια ως προς τη διατήρηση της ανατομικότητας του ριζικού σωλήνα. Επιπρόσθετα, έχουν μη κοπτικό αποστρωγγυλεμένο άκρο. Η ιδιαιτερότητα που τα κάνει να ξεχωρίζουν από τα προηγούμενα είναι ότι η απόκλιση των λεπίδων σε σχέση με τον επιμήκη άξονα δεν παραμένει σταθερή σε όλο το μήκος, αλλά αυξάνει από το άκρο προς το στέλεχος. Τα GT είναι διαθέσιμα σε κωνικότητα 4%, 6%, 8%, 10%, 12% και η συνιστώμενη ταχύτητα λειτουργίας είναι 300 rpm<sup>3,14</sup>.

#### **HERO** (Micro-Mega, Besancon, France)

Το σύστημα HERO 642 είναι το πρώτο που κατασκευάστηκε με οξύαιχμες λεπίδες που έχουν θετική γωνία κλίσης στο εγκάρσιο επίπεδο και μορφολογία τριπλής έλικας. Για το λόγο αυτό ανήκει στη δεύτερη γενιά μηχανοκίνητων συστημάτων. Τα παραπάνω χαρακτηριστικά αυξάνουν την κοπτική ικανότητα του εργαλείου. Η απόκλιση των λεπίδων από τον επιμήκη άξονα είναι προοδευτικά αυξανόμενη από το άκρο προς το στέλεχος. Όπως όλα τα υπόλοιπα συστήματα NiTi το άκρο είναι αποστρωγγυλεμένο. Οι κωνικότητες που κυκλοφορούν σε διάφορα μεγέθη είναι 2%, 4%, 6% και η ταχύτητα που προτείνεται είναι 300-600 rpm. Τα τελευταία χρόνια έχουν δημιουργηθεί δύο συστήματα συμπληρωματικά του HERO 642, το HERO Shaper και το HERO Apical. Το HERO Apical χρησιμοποιείται σε ιδιαίτερες περιπτώσεις, όπως όταν χρειάζεται μεγαλύτερη διεύρυνση ακρορριζικά ή υπάρχει ακρορριζική κάμψη<sup>13,15</sup>.

#### **Flex Master** (VDW, Munich, Germany)

Το FlexMaster θεωρείται σύστημα δεύτερης γενιάς λόγω της μορφολογίας του. Σε εγκάρσια διατομή παρουσιάζει τριγωνικό και κυρτό σχήμα με κοφτερές λεπίδες και συμπαγή κεντρικό άξονα. Η διαμόρφωση αυτή προσδίδει αποτελεσματικότερη

κοπτική ικανότητα και προστασία από θραύση ή παραμόρφωση. Τα εργαλεία έχουν αποστρωγγλυμένο κοπτικό άκρο και κωνικότητες 2%, 4%, 6%. Η ταχύτητα περιστροφής είναι 280 rpm. Η ενδεικνυόμενη τεχνική προπαρασκευής είναι η κλασική Crown-Down<sup>13,16</sup>.

### **K3** (Syndron Endo, West Collins, CA, USA)

Το σύστημα K3 ανήκει στα μηχανοκίνητα εργαλεία τρίτης γενιάς εξαιτίας του ιδιαίτερου σχεδιασμού του. Η θετική γωνία κλίσης των λεπίδων αυξάνει σημαντικά την κοπτική ικανότητα, ενώ η ποικίλη κλίση τους ευνοεί την απομάκρυνση των ξεσμάτων οδοντίνης. Η αντοχή των λεπίδων στη στρέψη αυξάνεται, καθώς διαπλατώνεται η βάση τους. Εκτός αυτού η διάμετρος του κεντρικού άξονα δεν είναι ίδια σε όλο το μήκος, αλλά μεγαλύτερη στο άκρο του εργαλείου όπου χρειάζεται περισσότερη αντοχή, και μικρότερη κοντά στο στέλεχος, όπου χρειάζεται περισσότερη ελαστικότητα. Το άκρο είναι αποστρωγγλυμένο κι έτσι μειώνεται ο κίνδυνος ευθραυσμού, διάτρησης ή αυλάκωσης του ριζικού σωλήνα. Η κωνικότητα ποικίλλει από 2% μέχρι 12%, όπως και τα μεγέθη κι αυτό βοηθάει σε δύσκολες περιπτώσεις με σύνθετη ανατομία δοντιού, όπου είναι ανάγκη να συνδυαστούν διαφορετικά εργαλεία. Η διεύρυνση γίνεται με τεχνική crown down, με ταχύτητα 300-350 rpm<sup>3,17</sup>.

### **RaCe** (FKG, La Chaux-de-Fonds, Switzerland)

Τα μηχανοκίνητα εργαλεία RaCe παρουσιάστηκαν για πρώτη φορά, το 1999, και σε σχέση με τα προηγούμενα συστήματα έχουν χαρακτηριστικές διαφορές. Στο κοπτικό τμήμα υπάρχουν εναλλασσόμενες ευθείες και περιελιγμένες περιοχές, που αποτρέπουν την ενσφήνωση των ρινών μέσα στο ριζικό σωλήνα και διευκολύνουν την απομάκρυνση των ξεσμάτων οδοντίνης. Σε εγκάρσια τομή έχουν σχήμα τετράγωνο ή τρίγωνο, άρα αυξημένη κοπτική ικανότητα. Ακόμα, η επιφάνειά τους έχει υποστεί επεξεργασία και είναι πολύ πιο λεία από των άλλων εργαλείων NiTi<sup>18</sup>. Η τεχνική που χρησιμοποιείται είναι η Crown-Down.

### **ProTaper** (Dentsply, Maillefer, Ballaigues, Switzerland)

Τα εργαλεία Pro Taper εμφανίστηκαν το 2001 και παρομοιάζουν, επίσης, μοναδικά χαρακτηριστικά σε σχέση με τα υπόλοιπα συστήματα. Το κυριότερο απ'αυτά είναι ότι ο βαθμός κωνικότητας δεν είναι ο ίδιος σε όλο το μήκος του κοπτικού τμήματος, αλλά προοδευτικά αυξανόμενος έως 12%. Το σχήμα της διατομής είναι κυρτό και τριγωνικό και πλεονεκτεί, επειδή περιορίζει την επαφή του εργαλείου και της οδοντίνης. Το σχήμα αυτό σε συνδυασμό με τις κοφτερές λεπίδες προσδίδει μεγάλη κοπτική ικανότητα. Το άκρο των εργαλείων είναι εν μέρει κοπτικό.

Τα εργαλεία λειτουργούν με ταχύτητα 300 rpm<sup>3,19</sup>. Πρόσφατα το σύστημα Pro Taper εμπλουτίστηκε με μια νέα σειρά εργαλείων, τα Pro Taper Universal Tulsa (Dentsply, Tulsa, OK). Στο νέο σύστημα περιλαμβάνονται ειδικά εργαλεία για αφαίρεση εμφρακτικού υλικού σε περιπτώσεις επανάληψης ενδοδοντικής θεραπείας. Η κυριότερη διαφορά τους από τα προηγούμενα είναι ότι έχουν πολύ κοπτικό άκρο, προκειμένου να διεισδύουν ευκολότερα στη μάζα του εμφρακτικού υλικού<sup>20</sup>. Άλλο ένα σημαντικό σημείο όπου διαφέρουν τα Pro Taper από πολλά συστήματα NiTi είναι ότι δεν εφαρμόζουν τεχνική Crown-Down.

### **Mtwo** (Sweden&Martina, Padova, Italy)

Το σύστημα Mtwo είναι από τα πιο πρόσφατα που έχουν εισαχθεί στην αγορά. Εμφανίζει αυξανόμενη κωνικότητα και απόκλιση των λεπίδων από τον κύριο άξονα όσο προχωράμε από το άκρο προς το στέλεχος. Ως αποτέλεσμα, διευκολύνεται η απομάκρυνση των ξεσμάτων οδοντίνης. Σε εγκάρσια τομή φαίνεται να έχει δύο λεπίδες με μια βαθιά μεταξύ τους αύλακα. Το χαρακτηριστικό αυτό μειώνει τη διάμετρο του σώματος του άξονα και αυξάνει την ευκαμπτότητα του εργαλείου. Οι λεπίδες έχουν θετική γωνία κλίσης και αυξημένη κοπτική ικανότητα. Τελευταία, έχει εισαχθεί στην αγορά μια σειρά εργαλείων, που προορίζεται αποκλειστικά για επανάληψη ενδοδοντικής θεραπείας και ονομάζεται Mtwo R<sup>20</sup>. Το σύστημα Mtwo δεν παρασκευάζεται με τεχνική crown down, αλλά κατευθείαν σε όλο το μήκος του ριζικού σωλήνα, ξεκινώντας από μικρά μεγέθη και κωνικότητες που αυξάνονται σταδιακά<sup>21</sup>.

### **TF** (SybronEndo, Orange, CA)

Το σύστημα TF σχεδιάστηκε με στόχο να προσφέρει μεγαλύτερη ασφάλεια κατά την προπαρασκευή. Σύμφωνα με τους κατασκευαστές, ο ιδιαίτερος τρόπος κατασκευής των ρινών μειώνει την πιθανότητα ενδορριζικής θραύσης. Συγκεκριμένα, το σύρμα NiTi είναι περιελιγμένο και έχει υποστεί θερμική επεξεργασία. Ακόμα, οι λεπίδες έχουν θετική γωνία κλίσης, το κοπτικό άκρο περιορίζεται στο μέγεθος 25 και η κωνικότητα ποικίλλει από 4% μέχρι 12%. Η συνιστώμενη ταχύτητα λειτουργίας είναι 500 rpm<sup>22,23</sup>.

### **Καθαρότητα τοιχώματος ριζικού σωλήνα.**

Είναι δεδομένο, ότι η καθαρότητα του ριζικού σωλήνα μετά το τέλος της προπαρασκευής επηρεάζει σημαντικά την επιτυχία της ενδοδοντικής θεραπείας. Κατά τη διάρκεια της χημικομηχανικής επεξεργασίας, τα υπολείμματα της αποκομμένης οδοντίνης και του πολφού θα πρέπει να απομακρύνονται αποτελεσματικά από το εσωτερικό της ρίζας. Διαφο-

ρετικά, η παραμονή τους στο ριζικό σωλήνα ή η έξοδος τους στους περιακρορριζικούς ιστούς είναι πιθανό να προκαλέσει αναζωπύρωση της φλεγμονής. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα υπολείμματα αυτά περιέχουν βακτήρια ή ευνοούν την ανάπτυξη τους<sup>24</sup>.

Η αποτριβή της οδοντίνης, που προκαλείται από τη λειτουργία των εργαλείων προπαρασκευής δημιουργεί το οδοντινικό επίχρισμα (smear layer), που αποτελείται από κονιορτοποιημένα ανόργανα και οργανικά υπολείμματα οδοντίνης, πολφού, βακτήρια και μεταβολικά τους προϊόντα. Το smear layer είναι άμορφο και διαχωρίζεται σε δύο στρώματα, ένα χαλαρά προσκολλημένο στο ριζικό τοίχωμα και ένα σταθερά προσκολλημένο στο τοίχωμα, που εισέρχεται μέσα στα οδοντινοσωληνάρια<sup>3,25,26</sup>.

Η απομάκρυνση του οδοντινικού επιχρίσματος είναι απαραίτητη, γιατί επιτρέπει στα υγρά διακλυσμών και στα αντισηπτικά φάρμακα να δράσουν καλύτερα μέσα στο ριζικό σωλήνα<sup>27</sup>. Παρόλ' αυτά, είναι γενικά παραδεκτό ότι καμία τεχνική δεν αφήνει απόλυτα καθαρό τοίχωμα και ότι ποσότητα επιχρίσματος υπάρχει πάντα στο ριζικό σωλήνα<sup>27-31</sup>. Επίσης, η μεγαλύτερη ποσότητα επιχρίσματος συγκεντρώνεται στο ακρορριζικό τριτημόριο εξαιτίας της μειωμένης πρόσβασης του υγρού διακλυσμού<sup>21,27,32,33</sup>.

Η σύγκριση μεταξύ των μηχανοκίνητων και χειροκίνητων μικροεργαλείων δεν έχει ξεκάθαρα αποτελέσματα. Υπάρχουν ερευνητές, που καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι τα μηχανοκίνητα εργαλεία δεν προσφέρουν κάτι περισσότερο στην καθαρότητα του ριζικού σωλήνα σε σχέση με τα χειροκίνητα μέσα<sup>27,29</sup>. Ταυτόχρονα, άλλοι ερευνητές υποστηρίζουν πως τα μηχανοκίνητα μέσα αφήνουν σημαντικά καθαρότερους ριζικούς σωλήνες σε σχέση με τις ρίνες χειρός<sup>30,31</sup>. Αυτό οφείλεται στη διαφορετική κλίση των λεπίδων και στο μεγαλύτερο διάστημα μεταξύ του άκρου των λεπίδων και του κύριου άξονα, που διευκολύνουν την απελευθέρωση και απομάκρυνση των ξεσμάτων οδοντίνης<sup>30</sup>.

Όσον αφορά τη σύγκριση μεταξύ των διαφόρων μηχανοκίνητων συστημάτων, κανένα δεν είναι απόλυτα αποτελεσματικό. Γενικά, φαίνεται ότι τα εργαλεία Profile και ProTaper δεν είχαν καλά αποτελέσματα<sup>34,35</sup>, ενώ τα RaCe και τα Mtwo είχαν καλύτερη απόδοση<sup>25,31,34</sup>. Συγκεκριμένα, τα αποτελέσματα του Profile οφείλονται στα χαρακτηριστικά της επιφάνειάς του, δηλαδή στη συνεχή κλίση και γωνίωση των ελίκων, αλλά και στο γεγονός ότι περισσότερο αποτρίβει παρά κόβει την οδοντίνη<sup>36</sup>. Τα Mtwo είχαν καλύτερα αποτελέσματα, επειδή έχουν μόνο δύο λεπίδες και λεπτότερο κύριο άξονα, επομένως, μεγαλύτερο χώρο διαφυγής των ξεσμάτων οδοντίνης<sup>25</sup>.

Επιπρόσθετα, μια σημαντική παράμετρος, που χρειάζεται να αναφερθεί ξεχωριστά είναι η έξοδος υλικού από το ριζικό σωλήνα στους περιακρορριζικούς ιστούς κατά τη διάρκεια της χημικομηχανικής επεξεργασίας, επειδή μπορεί να προκαλέσει αναζωπύρωση της φλεγμονής. Από τι φαίνεται, όλες οι τεχνικές προπαρασκευής ευθύνονται σε κάποιο βαθμό για έξοδο υπολειμμάτων ακρορριζικά. Οι ρίνες χειρός προκαλούν μεγαλύτερη έξοδο υλικού από τα μηχανοκίνητα εργαλεία<sup>31</sup>. Μεταξύ των μηχανοκίνητων εργαλείων, που έχουν εξεταστεί, τα καλύτερα αποτελέσματα παρουσιάζουν τα RaCe<sup>31</sup> και τα Profile<sup>35</sup>. Ωστόσο, αξίζει να επισημανθεί ότι τα παραπάνω αποτελέσματα προέρχονται από μελέτες in vitro. Στην πραγματικότητα, είναι πιθανό, η έξοδος υλικού να περιορίζεται από τους περιακρορριζικούς ιστούς που λειτουργούν ως φραγμός γύρω από το ακρορριζίο<sup>31</sup>. Εκτός αυτού, η πιθανότητα αναζωπύρωσης εξαρτάται όχι μόνο από την ποσότητα του υλικού, αλλά και από την μολυσματική ικανότητα των μικροβίων που περιέχει<sup>35</sup>.

### **Μορφολογία τοιχώματος ριζικού σωλήνα**

Η μορφολογία του τοιχώματος του ριζικού σωλήνα μετά τη χημικομηχανική επεξεργασία παίζει σημαντικό ρόλο τόσο στην απολύμανση όσο και στην έμφραξη του. Τα τοιχώματα θα πρέπει να είναι ομοιόμορφα παρασκευασμένα και λεία. Η παρουσία αυλάκων και άλλων εκτροπών από το επιθυμητό σχήμα εμποδίζει την επαφή του υγρού διακλυσμών με το σύνολο του τοιχώματος. Ως αποτέλεσμα, η απολύμανση περιορίζεται και ευνοείται η κατακράτηση μικροβίων. Ακόμα, η έλλειψη λείας επιφάνειας μειώνει την πρόσφυση του εμφρακτικού υλικού στο τοίχωμα, αφήνοντας μικροκενά, που επιτρέπουν την είσοδο και ανάπτυξη μικροβίων<sup>1</sup>.

Τα μηχανοκίνητα συστήματα υπόσχονται βελτίωση της ποιότητας προπαρασκευής του ριζικού τοιχώματος. Πράγματι, το τοίχωμα που αφήνουν τα μηχανοκίνητα συστήματα έχει καλύτερη μορφολογία από αυτό που παρασκευάζουν οι ρίνες χειρός<sup>36,37</sup>, οι οποίες δημιουργούν αυλάκες και διάφορες άλλες ανωμαλίες στην επιφάνεια του ριζικού τοιχώματος ή αδυνατούν να διορθώσουν τις ανωμαλίες που προέρχονται από την ανατομία του δοντιού. Αυτό οφείλεται, κυρίως, στο ότι κατασκευάζονται από ανοξείδωτο χάλυβα, ένα υλικό πολύ πιο άκαμπτο από το κράμα NiTi<sup>36,37</sup>.

Τα περισσότερα μηχανοκίνητα συστήματα παρασκευάζουν αρκετά ικανοποιητικά χωρίς να δημιουργούν ανωμαλίες στην επιφάνεια του σωλήνα και δεν παρουσιάζουν διαφορές στην αποτελεσματικότητά τους<sup>21,36,38,39</sup>.

### **Επάρκεια προπαρασκευής του ριζικού σωλήνα.**

Είναι γενικά παραδεκτό, ότι η διεύρυνση του ριζικού σωλήνα είναι απαραίτητο να περιλαμβάνει όλα τα τοιχώματα, σε όλο το μήκος του σωλήνα. Ο κύριος λόγος είναι ότι με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται η αφαίρεση της μολυσμένης οδοντίνης, όπου κατακρατούνται μικρόβια και προστατεύονται από την απολυμαντική δράση του υγρού διακλυσμού.

Η ικανότητα των εργαλείων NiTi να παρασκευάσουν επαρκώς το ριζικό σωλήνα αμφισβητείται από πολλές ερευνητικές εργασίες. Είναι σημαντικό ν'αναφερθεί ότι η ελλειπής προπαρασκευή αφορά, κυρίως, το ακρορριζικό τριτημόριο<sup>33,40</sup>. Οι ερευνητές που συγκρίνουν μηχανοκίνητα με χειροκίνητα εργαλεία καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι δε φαίνεται να υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα τους ως προς την επιφάνεια προπαρασκευής<sup>41,42</sup>. Παρόμοια, και η σύγκριση των διαφόρων μηχανοκίνητων συστημάτων οδηγεί στο συμπέρασμα ότι δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους<sup>34,40</sup>.

### **Διατήρηση της κάμψης του ριζικού σωλήνα.**

Η ικανοποιητική ενδοδοντική θεραπεία, σε πολλές περιπτώσεις μπορεί να δυσχεραίνεται από ανατομικές ιδιαιτερότητες των δοντιών, όπως η έντονη κάμψη της ρίζας. Οι ρίνες χειρός αδυνατούν να ακολουθήσουν την πορεία ενός κεκαμμένου ριζικού σωλήνα, εξαιτίας της ακαμψίας του υλικού κατασκευής τους (ανοξειδωτος χάλυβας). Ως αποτέλεσμα, η χρήση τους σε τέτοιες περιπτώσεις οδηγεί σε ευθυσμό της κάμψης. Γενικά, η μετατόπιση της θέσης του ριζικού σωλήνα οφείλεται στο γεγονός, ότι κατά την προπαρασκευή αφαιρείται μεγαλύτερη ποσότητα οδοντίνης από το εσωτερικό τοίχωμα της κάμψης στο μέσο τριτημόριο και από το εξωτερικό τοίχωμα στο ακρορριζικό τριτημόριο<sup>43</sup>. Η διαδικασία αυτή, είναι πιθανό να προκαλέσει μετατόπιση του ακρορριζικού τμήματος και αλλαγή του μήκους εργασίας. Όταν συμβαίνει ακρορριζική μετατόπιση, το ακρορριζίο διευρύνεται υπερβολικά και αποκτά μορφολογία παρόμοια με σταγόνα ή κλεψύδρα. Ως συνέπεια, καθίσταται αδύνατη η ερμητική έμφραξη του.

Τα σύγχρονα μηχανοκίνητα συστήματα NiTi, προτείνονται ως τα καταλληλότερα εργαλεία διεύρυνσης κεκαμμένων ριζικών σωλήνων, διότι σέβονται τη μορφολογία της ρίζας. Αυτό οφείλεται στο γεγονός, ότι το κράμα νικελίου-τιτανίου, που χρησιμοποιείται για την κατασκευή τους είναι πολύ πιο ελαστικό από τον ανοξειδωτο χάλυβα, άρα και ικανό να προσαρμοστεί σε διαφόρου βαθμού κάμψη.

Τα ευρήματα της βιβλιογραφίας δε δίνουν ξεκάθαρη απάντηση στο ερώτημα αν τα εργαλεία NiTi

είναι αποτελεσματικότερα από τις συμβατικές ρίνες χειρός στη διατήρηση της αρχικής μορφολογίας του ριζικού σωλήνα. Μια μερίδα ερευνητών υποστηρίζει, ότι δεν υπάρχει διαφορά μεταξύ των δύο τεχνικών<sup>44-47</sup>. Σε άλλες έρευνες φαίνεται ότι τα εργαλεία NiTi μετατοπίζουν το ριζικό σωλήνα λιγότερο από τις ρίνες χειρός (48, 49).

Τα περισσότερα συστήματα έχουν ικανοποιητικά αποτελέσματα και διατηρούν τη μορφολογία του ριζικού σωλήνα, προκαλώντας ελάχιστη μετατόπισή του<sup>33,40,47,50</sup>. Παρ' όλα αυτά, τα εργαλεία Pro Taper ευθύνονται για μεγαλύτερο ευθυσμό σε σχέση με τα Hero<sup>51-53</sup>, GT<sup>54</sup>, RaCe<sup>52,55-57</sup>, Mtwo<sup>57</sup>, K3<sup>57</sup>. Ένας σημαντικός λόγος φαίνεται να είναι η μεγάλη κωνικότητα και κοπτική ικανότητα των εργαλείων Pro Taper<sup>51-53,56</sup>.

### **Απώλεια μήκους εργασίας.**

Ως μήκος εργασίας, ορίζεται η απόσταση ανάμεσα στο μυλικό σημείο αναφοράς, που επιλέγεται και στο ακρορριζικό σημείο, όπου τελειώνει η προπαρασκευή και έμφραξη του ριζικού σωλήνα, συνήθως, 0,5-2 mm πριν το ακτινογραφικό ακρορριζίο. Ο σωστός υπολογισμός, αλλά και η διατήρηση του μήκους εργασίας κατά τη διάρκεια της διεύρυνσης του ριζικού σωλήνα, παίζουν σημαντικό ρόλο στην επιτυχία της ενδοδοντικής θεραπείας. Διαφορετικά, είναι πιθανό, να συμβεί υπερβολική ακρορριζική διεύρυνση και εμφάνιση συμπτωματολογίας ή ανεπαρκής προπαρασκευή και έμφραξη. Η μηχανική επεξεργασία του ριζικού σωλήνα με εργαλεία NiTi και τεχνική Crown-down, ειδικά, όταν υπάρχει κάμψη, ενδέχεται να τροποποιεί το μήκος εργασίας<sup>57</sup>. Η αλλαγή αυτή συνδέεται, κυρίως, με την ακρορριζική μετατόπιση που συμβαίνει σ' αυτές τις περιπτώσεις<sup>43</sup>.

Τα μηχανοκίνητα εργαλεία είναι το ίδιο αποτελεσματικά με τα χειροκίνητα, δηλαδή και τα δύο είναι υπεύθυνα για ελάχιστη έως καθόλου απώλεια μήκους εργασίας<sup>42,46,47,54</sup>. Ακόμα, τα περισσότερα μηχανοκίνητα συστήματα δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους<sup>38,39,47,51,54</sup>.

### **Μηχανισμοί θραύσης των μηχανοκίνητων μικροεργαλείων.**

Ένα από τα πιο σημαντικά μειονεκτήματα των μηχανοκίνητων μικροεργαλείων είναι η αυξημένη πιθανότητα θραύσης κατά τη λειτουργία τους. Δύο διαφορετικοί μηχανισμοί θραύσης έχουν περιγραφεί για τις μηχανοκίνητες ρίνες. Ο πρώτος, ονομάζεται θραύση στρέψης και οφείλεται σε ενσφήνωση του άκρου της ρίνης ακρορριζικά, καθώς το στέλεχος συνεχίζει να περιστρέφεται. Στην περίπτωση αυτή η θραύση συμβαίνει στο ακρορριζικό άκρο του εργα-

λείου. Ο δεύτερος, αναφέρεται στην κόπωση που υφίσταται το μέταλλο, από το οποίο είναι κατασκευασμένο το εργαλείο, μετά από ορισμένο αριθμό περιστροφών. Το μικροεργαλείο σπάει, ενώ περιστρέφεται ελεύθερα μέσα στο ριζικό σωλήνα. Το σημείο της θραύσης αντιστοιχεί στο σημείο της κάμψης του ριζικού σωλήνα<sup>58</sup>.

Οι ρίνες από ανοξείδωτο χάλυβα εμφανίζουν κόπωση μετά από μικρό αριθμό περιστροφών. Ως αποτέλεσμα, είναι αδύνατο να χρησιμοποιηθούν σε μηχανοκίνητα συστήματα. Αντιθέτως, το κράμα NiTi αναπτύσσει κόπωση μετά από πολλές περιστροφές και αυτό το χαρακτηριστικό το κάνει κατάλληλο για την κατασκευή περιστρεφόμενων ρινών<sup>3</sup>. Όμως, τα εργαλεία NiTi, παρά την ευκαμπτότητα του κράματος κατασκευής, συνεχίζουν να παρουσιάζουν κίνδυνο θραύσης, ειδικά, όταν αυξάνεται η επιφάνεια επαφής της ρίνης με το ριζικό τοίχωμα. Για το λόγο αυτό, συστήνεται η χρήση της τεχνικής crown-down, κατά την οποία μικρό μέρος του άκρου της ρίνης έρχεται σε επαφή με τη ρίζα, καθώς και η εφαρμογή ελάχιστης έως καθόλου πίεσης κατά μήκος του άξονα της ρίνης, προκειμένου να αποφευχθεί η ενσφήνωση<sup>3</sup>.

### Συχνότητα θραύσης

Είναι γενικά παραδεκτό, ότι τα μηχανοκίνητα συστήματα έχουν αυξημένη τάση θραύσης κατά τη λειτουργία τους. Το ποσοστό θραύσης κυμαίνεται μεταξύ 0,4%-10%<sup>56,58-61</sup> εκτός από μία έρευνα<sup>62</sup> όπου φτάνει στο 20%. Οι κυριότερες αιτίες θραύσης είναι η έντονη κάμψη της ρίζας<sup>60,63</sup>, η μορφολογία των χρησιμοποιούμενων εργαλείων<sup>45,54</sup>, το μεγάλο μέγεθος των εργαλείων<sup>69,61</sup>, η υψηλή ροπή στρέψης<sup>34,64</sup>, η έλλειψη εμπειρίας του χειριστή<sup>35,64</sup> και η κόπωση του μετάλλου από την επαναλαμβανόμενη χρήση των εργαλείων<sup>58,61-63</sup>.

Τα συστήματα NiTi, που συμμετείχαν σε κάποιες έρευνες, δεν παρουσίασαν στατιστικά σημαντική διαφορά ως προς τον αριθμό θραύσεων<sup>34,56,64,65</sup>. Ταυτόχρονα, σε άλλες έρευνες τα συστήματα που συγκρίνονται, διαφέρουν ως προς τη συχνότητα θραύσης<sup>33,39,54,62,63,66</sup>. Για παράδειγμα, τα εργαλεία Pro Taper εμφανίζουν περισσότερες θραύσεις από τα GT, HERO και K3 εξαιτίας των κατασκευαστικών τους χαρακτηριστικών, που τους προσδίδουν ακαμψία<sup>54</sup>. Επίσης, τα Pro Taper σπάνε συχνότερα από τα Profile λόγω διαφορετικής μορφολογίας. Η εναλλασσόμενη κωνικότητα των Pro Taper οδηγεί σε συσσώρευση κόπωσης μετάλλου και ξαφνική θραύση του εργαλείου. Αντιθέτως, η σταθερή κωνικότητα των Profile προκαλεί συχνότερες παραμορφώσεις στα εργαλεία, παρά θραύση. Στα Profile συμβαίνει, κυρίως, θραύση από στρέψη, παρά από κόπωση<sup>66</sup>. Τα εργαλεία RaCe και K3 έχουν μεγαλύτερη τάση για

θραύση από τα Mtwo, ειδικά, μετά από πολλές χρήσεις, ενώ τα Mtwo είναι περισσότερο ευαίσθητα σε παραμόρφωση. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα Mtwo έχουν αυξανόμενη κωνικότητα και απόκλιση των ελίκων από το άκρο προς το στέλεχος. Το χαρακτηριστικό αυτό εμποδίζει την ενσφήνωση του εργαλείου στο ριζικό σωλήνα<sup>40</sup>.

Η θραύση μικροεργαλείου συμβαίνει στο ακρορριζικό άκρο και έχει μήκος 2-5 mm με μια μέση τιμή 3 mm<sup>23,67-70</sup>. Αυτό ίσως να εξηγείται από το γεγονός, ότι στο σημείο αυτό ο ριζικός σωλήνας είναι ιδιαίτερα στενός και σε αρκετές περιπτώσεις συνυπάρχει διαφόρου βαθμού κάμψη. Για το λόγο αυτό, προτείνεται η εξασφάλιση διαβατότητας με ρίνες χειρός, σε όλο το μήκος του ριζικού σωλήνα, πριν χρησιμοποιηθούν τα μηχανοκίνητα μέσα<sup>61</sup>. Επιπρόσθετα, έχει βρεθεί ότι η θραύση των μηχανοκίνητων ρινών οφείλεται σε ποσοστό 55,7% σε στρέψη και 44,3% σε κόπωση. Όπως προαναφέρθηκε, η θραύση στρέψης συμβαίνει στο ακρορριζικό άκρο του εργαλείου και προκειμένου να αποφευχθεί, συστήνεται η αποφυγή άσκησης κατά την προπαρασκευή με τεχνική crown-down<sup>58,71</sup>.

Τα πιο συχνά μεγέθη στα οποία συμβαίνει θραύση μικροεργαλείου είναι τα : 25, 30, 35<sup>45,54,55,59</sup>. Τα συμπεράσματα των ερευνών όσον αφορά τη συμμετοχή του μεγέθους της ρίνης στην πρόκληση θραύσης είναι αντικρουόμενα. Ένα μέρος των ερευνητών υποστηρίζει, ότι μεγάλα μεγέθη σε συνδυασμό με έντονη κωνικότητα προσδίδουν ακαμψία στις ρίνες, οι οποίες γίνονται πιο επιρρεπείς σε θραύση<sup>45,54,61</sup>. Αντίθετα, μια άλλη μερίδα ερευνητών θεωρεί, πως τα λεπτότερα εργαλεία είναι πιο αδύναμα, λόγω της μειωμένης μάζας μετάλλου και για τον λόγο αυτό σπάνε πιο εύκολα<sup>59,72,73</sup>.

### Όριο επιτρεπόμενων χρήσεων

Σημαντικός παράγοντας στην κλινική πράξη είναι ο αριθμός των επιτρεπόμενων χρήσεων των εργαλείων NiTi. Οι περισσότεροι κατασκευαστές συστήνουν τη χρήση τους μόνο μία φορά, με σκοπό να αποφευχθεί η θραύση<sup>74</sup>. Ο κύριος λόγος είναι ότι μετά από κάθε χρήση η αντοχή των εργαλείων μειώνεται, λόγω κόπωσης του μετάλλου<sup>75</sup>. Ακόμα, έχει παρατηρηθεί, ότι μετά από τη χρήση των εργαλείων εμφανίζονται φθορές στην επιφάνειά τους όπως μικροκατάγματα, αποτριβές και παραμορφώσεις. Αξίζει ν' αναφερθεί, ότι οι φθορές αυτές, συνήθως, είναι συγκεντρωμένες γύρω από την περιοχή της θραύσης<sup>70</sup>. Οι περισσότεροι ερευνητές καταλήγουν στο συμπέρασμα, ότι οι επαναλαμβανόμενες χρήσεις των εργαλείων αυξάνουν την πιθανότητα θραύσης<sup>61,63,65,66,76,77</sup>. Παρ' όλα αυτά, στις περισσότερες έρευνες δε γίνεται σαφές αν είναι επιβεβλημένη η απόρριψη των εργαλείων αμέσως μετά την πρώτη

χρήση ή μετά από συγκεκριμένο αριθμό χρήσεων. Σε κάποιες έρευνες αναφέρεται, ότι ο αριθμός των κύκλων αποστείρωσης δεν επηρεάζει την αντοχή των εργαλείων<sup>78,79</sup>. Παράλληλα, εντοπίζονται έρευνες, που προτείνουν συγκεκριμένο αριθμό χρήσεων για κάποια συστήματα, όμως, τα αποτελέσματα δε συμφωνούν μεταξύ τους. Συνεπώς, δεν υπάρχουν επιβεβαιωμένα συμπεράσματα ως προς τον αριθμό χρήσεων των μηχανοκίνητων ρινών, που επιτρέπει να εργάζονται με ασφάλεια και μειώνει στο ελάχιστο την πιθανότητα θραύσης.

### **Επανάληψη ενδοδοντικής θεραπείας.**

Οι πιθανότητες αποτυχίας της ενδοδοντικής θεραπείας μειώνονται όσο τελειοποιούνται οι τεχνικές προπαρασκευής, απολύμανσης και έμφραξης του ριζικού σωλήνα. Παρ' όλα αυτά, συνεχίζει να αποτελεί σοβαρό ενδεχόμενο. Σε αυτή την περίπτωση, ο οδοντίατρος καλείται να επιλέξει τον κατάλληλο τρόπο αντιμετώπισης ανάμεσα στην επανάληψη της ενδοδοντικής θεραπείας, την περιακρορριζική χειρουργική και την εξαγωγή. Τα τελευταία χρόνια, η επανάληψη της ενδοδοντικής θεραπείας προτιμάται ως συντηρητικότερη θεραπεία<sup>80</sup>. Ο στόχος της επανάληψης είναι η πλήρης αφαίρεση του εμφρακτικού υλικού από το ριζικό σωλήνα και η απομάκρυνση του νεκρωτικού περιεχομένου και των βακτηρίων που παραμένουν προσκολλημένα στα τοιχώματα και είναι υπεύθυνα για την αναζωπύρωση της περιακρορριζικής φλεγμονής<sup>81</sup>.

Ο ρόλος των μηχανοκίνητων συστημάτων στην επανάληψη της ενδοδοντικής θεραπείας έχει ασχολήσει την ερευνητική κοινότητα τα τελευταία χρόνια. Ένα βασικό ερώτημα είναι αν τα μηχανοκίνητα μικροεργαλεία αφαιρούν περισσότερο εμφρακτικό υλικό από τις ρίνες χειρός. Όλες οι τεχνικές είτε χειροκίνητες είτε μηχανοκίνητες, αφήνουν υπολείμματα εμφρακτικού υλικού<sup>82-86</sup>. Κάποιες έρευνες υποστηρίζουν ότι τα εργαλεία NiTi είναι πιο αποτελεσματικά σε σύγκριση με τις ρίνες χειρός<sup>84,85</sup>, ενώ άλλες υποστηρίζουν το αντίθετο<sup>20,83</sup>. Ταυτόχρονα, υπάρχει αντίστοιχος αριθμός ερευνών, σύμφωνα με τις οποίες οι δύο τεχνικές έχουν παρόμοια αποτελεσματικότητα<sup>82,85</sup>.

Η σύγκριση των διαφόρων μηχανοκίνητων συστημάτων δεν καταλήγει σε ξεκάθαρα συμπεράσματα<sup>20,82,86,87</sup>. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η περίπτωση των συστημάτων Mtwo R και Pro Taper Universal. Πρόκειται για δύο νέες σειρές εργαλείων, ειδικά σχεδιασμένες για τις περιπτώσεις επανάληψης. Κοινό χαρακτηριστικό τους, είναι το ενεργό κοπτικό άκρο για ευκολότερη διείσδυση μέσα στο εμφρακτικό υλικό και η αυξημένη κοπτική ικανότητα των λεπίδων<sup>20</sup>. Τα συστήματα αυτά, συγκρίνονται σε δύο διαφορετικές μελέτες, των οποίων τα αποτελέ-

σματα είναι αντιφατικά. Στην πρώτη<sup>82</sup> το σύστημα Mtwo R αφήνει περισσότερα κατάλοιπα εμφρακτικού υλικού από το Pro Taper, ενώ στη δεύτερη<sup>20</sup> συμβαίνει το αντίθετο.

Η μεγαλύτερη συγκέντρωση υπολειμμάτων γουταπέρκας εμφανίζεται στο ακρορριζικό τριτημόριο<sup>20,85,87-89</sup>. Η πιθανότερη αιτία είναι η ανατομική πολυπλοκότητα της περιοχής (κάμπψεις, αύλακες, στενώσεις), που δυσχεραίνει την προπαρασκευή<sup>87-89</sup>. Εκτός αυτού, καλό θα ήταν να σημειωθεί η πιθανότητα εξόδου υλικού στους περιακρορριζικούς ιστούς, διότι μπορεί να προκαλέσει αναζωπύρωση της φλεγμονής. Η πιθανότητα είναι ίδια για τα μηχανοκίνητα και χειροκίνητα εργαλεία<sup>81,90,91</sup>.

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα των μηχανοκίνητων συστημάτων είναι ότι η επανάληψη της ενδοδοντικής θεραπείας ολοκληρώνεται σε λιγότερο χρόνο απ' ό,τι με τα χειροκίνητα εργαλεία<sup>20,80,82,86</sup>. Αντιθέτως, είναι δύσκολο να γίνει κατανοητό αν και ποια μηχανοκίνητα συστήματα είναι ταχύτερα συγκριτικά με τα υπόλοιπα, εφόσον ο αριθμός των σχετικών ερευνών είναι περιορισμένος και τα αποτελέσματα δε συμφωνούν μεταξύ τους.

### **Συμπεράσματα.**

Τα μηχανοκίνητα συστήματα δημιουργούν πιο λείο τοίχωμα ριζικού σωλήνα και είναι ταχύτερα στην αφαίρεση παλιάς έμφραξης σε σχέση με τα χειροκίνητα μέσα. Τα μηχανοκίνητα μέσα αφήνουν απροπαρασκευάστες περιοχές, προκαλούν έξοδο υλικού ακρορριζικά και διατηρούν το αρχικό μήκος εργασίας στον ίδιο βαθμό με τα χειροκίνητα μέσα. Σημαντικό μειονέκτημα των μηχανοκίνητων μικροεργαλείων είναι η υψηλή συχνότητα θραύσης. Ανάμεσα στα διάφορα συστήματα τη μεγαλύτερη πιθανότητα θραύσης έχει το Pro Taper και τη μικρότερη το Mtwo. Επίσης, το Pro Taper προκαλεί εντονότερη μετατόπιση της θέσης του ριζικού σωλήνα σε σχέση με τα υπόλοιπα συστήματα. Σχετικά με την καθαρότητα του ριζικού σωλήνα μετά την προπαρασκευή, το Profile είναι λιγότερο αποτελεσματικό, συγκριτικά με όλα τα συστήματα, ενώ το Mtwo είναι το αποτελεσματικότερο. Ως προς τη μορφολογία του τοιχώματος του ριζικού σωλήνα, τη διατήρηση του μήκους εργασίας και την επάρκεια της προπαρασκευής δεν υπάρχει διαφορά ανάμεσα στα μηχανοκίνητα συστήματα.

Δυστυχώς, δεν υπάρχουν σαφή συμπεράσματα για την αποτελεσματικότητα των μηχανοκίνητων συστημάτων, συγκριτικά με τα χειροκίνητα μέσα, ως προς την καθαρότητα του ριζικού σωλήνα, την αφαίρεση του εμφρακτικού υλικού και τη διατήρηση της αρχικής πορείας του ριζικού σωλήνα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός, ότι τα αποτελέσματα των ερευνητικών εργασιών είναι αντικρουόμενα.



**Βιβλιογραφία**

1. Hülsmann M, Peters OA, Dummer PMH. Mechanical preparation of root canals, shaping goals, techniques and means. *Endodontic Topics* 2005; 10:30-76.
2. Walia HM, Brandley WA, Gerstein H. An initial investigation of the bending and torsional properties of Nitinol root canal files. *J Endod* 1988; 14:346-51.
3. Peters OA, Peters CL. Cleaning and shaping of the root canal system. In : Cohen S, ed. *Endodontics. Pathways of the pulp*, 9th edition. CV Mosby, 2006; 9:291-357.
4. Parashos P, Messer HH. Uptake of rotary NiTi technology within Australia. *Aust Dent J* 2005; 50:251-7.
5. Parashos P, Messer HH. Questionnaire survey on the use of rotary nickel-titanium endodontic instruments by Australian dentists. *Int Endod J* 2004; 37:249-59.
6. Parashos P, Messer HH: The diffusion of innovation in dentistry. A review using rotary nickel-titanium technology as an example. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2006; 101:395-401.
7. Reit C, Bergenholtz G, Caplan D, Molander A. The effect of educational intervention on the adoption of nickel-titanium rotary instrumentation in a Public Dental Service. *Int Endod J* 2007; 40:268-74.
8. Hänni S, Schönenberger K, Peters OA, Barbakow F. Teaching an engine-driven preparation technique to undergraduates: Initial observations. *Int Endod J* 2003; 36:476-482.
9. Arbab -Chirani R, Vulcain JM. Undergraduate teaching and clinical use of rotary nickel-titanium endodontic instruments: A survey of French dental schools. *Int Endod J* 2004; 37:320-4.
10. Shen Ya, Coil J, Haapasalo M. Defects in nickel-titanium instruments after clinical use. Part 3: A 4-year retrospective study from an undergraduate clinic. *J Endod* 2009; 35:193-196.
11. Molande A, Caplan D, Bergenholtz G, Reit C. Improved quality of root fillings provided by general dental practitioners educated in nickel-titanium rotary instrumentation. *Int Endod J* 2007; 40:254-260.
12. Steve Senia E, Wildey WL. The Lightspeed root canal instrumentation system. *Endodontic Topics* 2005; 10: 148-150.
13. Lloyd A. Root canal instrumentation with Profile instruments. *Endodontic Topics* 2005; 10:151-154.
14. Buchanan LS. Prosystem GT: design, technique and advantages. *Endodontic Topics* 2005; 10:168-175.
15. Calas P. HEROShapers. The adapted pitch concept. *Endodontic Topics* 2005; 10:155-162.
16. Sonntag D. FlexMaster: A universal system. *Endodontic Topics* 2005; 10:183-186.
17. Gambarini G. The K3 rotary nickel titanium instrument system. *Endodontic Topics* 2005; 10:179-182.
18. Baumann MA. Reamer with alternating cutting edges-concept and clinical application. *Endodontic Topics* 2005; 10:176-178.
19. Ruddle CJ. The ProTaper technique. *Endodontic Topics* 2005; 10:187-190.
20. Somma F, Cammarota G, Plotino G, Grande NM, Pameijer CH. The effectiveness of manual and mechanical instrumentation for the retreatment of three different root canal filling materials. *J Endod* 2008; 34:466-99.
21. Foschi F, Nucci C, Montebugnoli L, Marchionni S, Breshi L, Malagnino VA, Prati C. SEM evaluation of root canal dentine following use of Mtwo and ProTaper NiTi rotary instruments. *Int Endod J* 2004; 37:832-9.
22. Larsen CM, Watanabe I, Glickman GN, He J. Cyclic fatigue analysis of a new generation of nickel titanium rotary instruments. *J Endod* 2009; 35:401-3.
23. Gambarini G, Grande NM, Plotino G, Somma F, Garala M, De Luca M, Testarelli L. Fatigue resistance of engine driven rotary nickel titanium instruments produced by new manufacturing methods. *J Endod* 2008; 34:1003-5.
24. Jose F, Siqueira JR. Reaction of periradicular tissues to root canal treatment: benefits and drawbacks. *Endodontic Topics* 2005; 10:123-147.
25. Shafer E, Erler M, Damaschke T. Comparative study on the shaping ability and cleaning efficiency of rotary Mtwo instruments. Part 2. Cleaning effectiveness and shaping ability in severely curved root canals of extracted teeth. *Int Endod J* 2006; 39:203-12.
26. Passarinho-Neto JG, Marchesan MA, Ferreira RB, Silva RG, Silva-Sousa YT, Sousa-Neto MD. In vitro evaluation of endodontic debris removal as obtained by rotary instrumentation coupled with ultrasonic irrigation. *Aust Endod J* 2006; 32:123-8.
27. Prati C, Foschi F, Nucci C, Montebugnoli L, Marchionni S. Appearance of the root canal walls after preparation with NiTi rotary instruments: a comparative SEM investigation. *Clin Oral Investig* 2004; 8:102-10.
28. Colak M, Evsil S, Bayindir YZ, Yigit N. The effectiveness of three instrumentation techniques on the elimination of enterococcus faecalis from a root canal: An in vitro study. *J Contemp Dent Pract* 2005; 6:94-106.
29. Chuste-Guillot MP, Badet C, Peli JF, Perez F. Effect of three nickel-titanium rotary file techniques on infected root dentin reduction. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2006; 102:254-8.
30. Zand V, Bidar M, Ghaziani P, Rahimi S, Shahi S. A comparative SEM investigation of the smear layer following preparation of root canals using nickel titanium rotary and hand instruments. *J Oral Sci* 2007;49:47-52.
31. Zarrabi MH, Bidar M, Jafarzadeh H. An in vitro comparative study of apically extruded debris resulting from conventional and three rotary (Profile, Race, FlexMaster) instrumentation techniques. *J Oral Sci* 2006; 48:85-8.
32. Jodway B, Hulsmann M. A comparative study of root canal preparation with NiTi-TEE and K3 rotary NiTi instruments. *Int Endod J* 2006; 39:71-80.
33. Rodig T, Hulsmann M, Kahlmeier C. Comparison of root canal preparation with two rotary NiTi instruments: Profile 04 and GT rotary. *Int Endod J* 2007; 40:553-62.
34. Paque F, Musch U, Hulsmann M. Comparison of root canal preparation using RaCe and ProTaper NiTi instruments. *Int Endod J* 2005; 38: 8-16.
35. Tanalp J, Kaptan F, Sert S, Kayahan B, Bayirli G. Quantitative evaluation of the amount of apically extruded debris using 3 different instrumentation systems. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol*

- Endod 2006; 101:250-7.
36. Jeon IS, Spangberg LS, Yoon TS, Kazemi RB, Kum KY. Smear layer production by three rotary reamers with different cutting blade designs in straight root canals: A scanning electron microscopic study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2003; 96:601-7.
  37. Perez F, Shoumacher M, Peli JF. Shaping ability of two rotary instruments in simulated canals: Stainless steel ENDOflash and nickel-titanium HERO-Shaper. *Int Endod J* 2005; 38:637-44.
  38. Veltri M, Mollo A, Mantovani L, Pini P, Balleri P, Grandini S. A comparative study of Endoflare-HEROShaper and Mtwo NiTi instruments in the preparation of curved root canals. *Int Endod J* 2005; 38:610-6.
  39. Shafer E, Erler M, Damaschke T. Comparative study on the shaping ability and cleaning efficiency of rotary Mtwo instruments. Part1: Shaping ability in simulated curved canals. *Int Endod J* 2006; 39:196-202.
  40. Camara AC, Aguiar CM, Poli de Figueiredo JA. Assessment of the deviation after biomechanical preparation of the coronal, middle and apical thirds of root canals instrumented with three HERO rotary systems. *J Endod* 2007; 3:1460-3.
  41. Peru M, Peru C, Manocci F, Sherriff M, Buchanan LS, Pitt Ford TR. Hand and nickel-titanium root canal instrumentation performed by dental students: A micro-computed tomographic study. *Eur J Dent Educ* 2006; 10:52-9.
  42. Weiger R, Bruckner M, ElAyouti A, Lost C. Preparation of curved root canals with rotary FlexMaster instruments compared to Lightspeed instruments and NiTi hand files. *Int Endod J* 2003; 36:483-90.
  43. Ayar LR, Love RM. Shaping ability of Profile and K3 NiTi rotary instruments when used in a variable tip sequence in simulated curved root canals. *Int Endod J* 2004; 37:593-601.
  44. Vaudt J, Bitter K, Neumann K, Kielbassa AM. Ex vivo study on root canal instrumentation of two rotary nickel-titanium systems in comparison to stainless steel hand instruments. *Int Endod J* 2009; 42:22-23.
  45. Uroz Torres D, Gonzalez-Rodriguez MP, Ferrer-Luque CM. Effectiveness of a manual glide path on the preparation of curved root canals by using Mtwo rotary instruments. *J Endod* 2009; 35:699-702.
  46. Barta T, Kalwitzki M, Lost C, Weiger R. Extended apical enlargement with hand files versus rotary NiTi files. Part 2. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2006; 102:692-7.
  47. Matwychuk MJ, Bowles WR, McClanahan SB, Hodges JS, Pesun LJ. Shaping abilities of two different engine driven rotary nickel titanium rotary systems or stainless steel balanced force technique in mandibular molars. *J Endod* 2007; 33:868-71 .
  48. Tu MG, Chen SY, Huang HL, Tsai CC. Endodontic shaping performance using nickel titanium hand and motor ProTaper systems by novice dental students. *J Formos Med Assoc* 2008; 107:381-8.
  49. Tasdemir T, Aydemir H, Inan U, Unal O. Canal preparation with HERO 642 rotary NiTi instruments compared with stainless steel hand K-file assessed with computed tomography. *Int Endod J* 2005; 38:402-8.
  50. Iqbal MK, Banfield B, Lavorini A, Bachstein B. A comparison of LightSpeed LS1 and LightSpeed LSX NiTi rotary instruments in apical transportation and length control in simulated root canals. *J Endod* 2007; 33:268-71.
  51. Uzun O, Topuz O, Aydyn C, Alacam T, Aslan B. Enlarging characteristics of four nickel titanium rotary instrument systems under standardized conditions of operator related variables. *J Endod* 2007; 33:1117-20.
  52. Javaheri HH, Javaheri GH. A comparison of three NiTi rotary instruments in apical transportation. *J Endod* 2007; 33:284-6.
  53. Zhang L, Luo HX, Zhou XD, Tan H, Huang DM. The shaping effect of the combination of two rotary nickel titanium instruments in simulated S-shaped canals. *J Endod* 2008; 34:456-8.
  54. Guelzow E, Stamm O, Martus P, Kielbassa AM. Comparative study of six rotary nickel titanium systems and hand instrumentation for root canal preparation. *Int Endod J* 2005; 38:743-52.
  55. Merrett SJ, Bryant ST, Dummer PM. Comparison of the shaping ability of RaCe and FlexMaster rotary nickel-titanium systems in simulated canals. *J Endod* 2006; 32:960-2.
  56. Shaffer E, Vlassis M. Comparative investigation of two rotary nickel titanium instruments: ProTaper versus RaCe. Part 1. Shaping ability in simulated curved root canals. *Int Endod J* 2004; 37:229-38.
  57. Martin-Mico M, Forner-Navarro L, Almenar-Garcia A. Modification of the working length after rotary instrumentation: a comparative study of four systems. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal* 2009; 14:153-7.
  58. Al Fouzan KS. Incidence of rotary Profile instrument fracture and the potential of by passing in vivo. *Int Endod J* 2003; 36:864-7.
  59. Di Fiore PM, Genov KI, Komaroff E, Dasanayake AP, Lin L. Fracture of Profile nickel titanium rotary instruments, a laboratory simulation assessment. *Int Endod J* 2006; 39:502-9.
  60. Knowles KI, Hammond NB, Biggs SG, Ibarolla LJ. Incidence of instrument separation using LightSpeed rotary instruments. *J Endod* 2006; 32:14-6.
  61. Wolcott S, Wolcott J, Ishley D, Kennedy W, Johnson S, Minnich S, Meyers J. Separation incidence of ProTaper rotary instruments, a large cohort clinical evaluation. *J Endod* 2006; 32:1139-41.
  62. Herold KS, Johnson BR, Wenckus CS. A scanning electron microscopy evaluation of microfractures, deformation and separation in Endosequence and Profile nickel titanium rotary files using an extracted molar tooth model. *J Endod* 2007; 36:712-4.
  63. Troian CH, So MV, Figueiredo JA, Oliveira EP. Deformation and fracture of RaCe and K3 endodontic instruments according to the number of uses. *Int Endod J* 2006; 39:616-25.
  64. Hulsman M, Herbst U, Shafers F. Comparative study of root canal preparation using Lightspeed and Quantec SC rotary NiTi instruments. *Int Endod J* 2003; 36:748-56.
  65. Di Fiore PM, Genov KA, Komaroff E, Li Y, Lin L. Nickel

- titanium rotary instrument fracture, a clinical practice assessment. *Int Endod J* 2006;39:700-8.
66. Shen Y, Cheung GS, Bian Z, Peng B. Comparison of defects in Profile and ProTaper systems after clinical use. *J Endod* 2006; 32:61-5.
67. Ray JJ, Kirkpatrick TC, Rutledge RE. Cyclic fatigue of Endosequence and K3 rotary files in adynamic model. *J Endod* 2007; 33:1469-72.
68. Inan U, Aydin C, Tunca YM. Cyclic fatigue of ProTaper rotary nickel titanium instruments in artificial canals with 2 different radii of curvature. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2007; 104:837-40.
69. Bahia MG, Melo MC, Buono VT. Influence of cyclic torsional loading on the fatigue resistance of K3 instruments. *Int Endod J* 2008; 41:883-91.
70. Tripi TR, Bonnacorso A, Condorelli GG. Cyclic Fatigue of different nickel titanium endodontic rotary instruments. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2006; 102:106-14.
71. Sattapan B, Nervo GJ, Palamara JE, Messer HH. Defects in rotary nickel titanium files after clinical use. *J Endod* 2000; 26:16-5.
72. Yared G, Kulkarni GK. An in vitro study of the torsional properties of new and used rotary nickel titanium files in plastic blocks. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2003; 96:466-71.
73. Yared G, Kulkarni GK, Ghossayn F. An in vitro study of the torsional properties of new and used K3 instruments. *Int Endod J* 2003; 36:764-9.
74. Peter M Di Fiore. A dozen ways to prevent nickel-titanium rotary instrument fracture. *J Am Dent Assoc* 2007;138: 196-201.
75. Fife D, Gambarini G, Britto Lr L. Cyclic fatigue testing of ProTaper NiTi rotary instruments after clinical use. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2004; 97:251-6.
76. Ounsi HF, Salameh Z, Al-Shalan T, Ferrari M, Grandidni S, Pashley DH, Tay FR. Effect of clinical use on the cyclic fatigue resistance of ProTaper nickel titanium rotary instruments. *J Endod* 2007; 33:737-41.
77. Valois C, Silva L, Azevedo R. Multiple autoclave cycles affect the surface of rotary nickel-titanium files: An atomic force microscopic study. *J Endod* 2008; 34:859-62.
78. Viana ACD, Gonzalez BM, Buono VTL, Bahia MGA. Influence of sterilization on mechanical properties and fatigue resistance of nickel-titanium rotary endodontic instruments. *Int Endod J* 2006; 39:709-15.
79. Alexandrou G, Chrissafis K, Vasiliadis L, Pavlidou E, Polychroniadis EK. Effect of heat sterilization on surface characteristics and microfracture of Mani NRT rotary nickel-titanium instruments. *Int Endod J* 2006; 39:770-8.
80. Saad AY, Al Hadlaq SM, Al-Katheeri NH. Efficacy of two rotary NiTi instruments in the removal of Gutta-Percha during root canal retreatment. *J Endod* 2007; 33:38-41.
81. Hammad M, Qualtrough A, Silikas N. Three dimensional evaluation of effectiveness of hand and rotary instrumentation for retreatment of canals filled with different materials. *J Endod* 2008; 34:1370-3.
82. Tasdemir T, Er K, Yildirim T, Celik D. Efficacy of three rotary NiTi instruments in removing gutta-percha from root canals. *Int Endod J* 2008; 41:191-6.
83. So MV, Saran C, Magro ML, Vier Pelisser FV, Munhoz M. Efficacy of ProTaper retreatment system in root canals filled with gutta-percha and two endodontic sealers. *J Endod* 2008; 34:1223-5.
84. Gu LS, Ling JQ, Wei X, Huang XY. Efficacy of ProTaper Universal retreatment system for gutta-percha removal from root canals. *Int Endod J* 2008; 41:288-95.
85. Gergi R, Sabbagh C. Effectiveness of two nickel titanium rotary instruments and a hand file for removing gutta-percha in severely curved root canals during retreatment, an ex vivo study. *Int Endod J* 2007; 40:532-7.
86. Giuliani V, Cocchetti R, Pagavino G. Efficacy of ProTaper Universal retreatment files in removing filling materials during root canal retreatment. *J Endod* 2008; 34:1381-4.
87. Schirrmeister JF, Wrbas KT, Meyer KM, Altenburger MJ, Hellwig E. Efficacy of different rotary instruments for gutta-percha removal in root canal retreatment. *J Endod* 2006; 32:469-72.
88. Kosti E, Lambrianidis T, Economides N, Neofitou C. Ex vivo study of the efficacy of H-files and rotary NiTi instruments to remove gutta-percha and 4 types of sealer. *Int Endod J* 2006; 39:48-54.
89. Bueno CE, Delboni MG, de Araujo RA, Carrara HJ, Cunha RS. Effectiveness of rotary and hand files in gutta-percha and sealer removal using chloroform or chlorhexidine gel. *Braz Dent J* 2006; 17:139-43.
90. Schirrmeister JF, Wrbas KT, Schneider FH, Altenburger Mh, Hellwig E. Effectiveness of a hand file and three nickel titanium rotary instruments for removing gutta-percha in curved root canals during retreatment. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2006; 101:542-7.
91. Stabholz A, Friedman S. Endodontic retreatment, case selection and technique, Part 2: Treatment planning for retreatment. *J Endod* 1988; 14:607-14.