

Reicht ein Nickel-Titan-System für die Wurzelkanalaufbereitung aus?

Indizes

Nickel-Titan-Instrumente, Wurzelkanalaufbereitung, Wurzelkanal, Legierung

Zusammenfassung

Bei der Anwendung von Instrumenten zur Wurzelkanalaufbereitung existieren zurzeit gegenläufige Strömungen. Einerseits stellen praktizierende Spezialisten auf dem Gebiet der Endodontie in der Darlegung ihrer Behandlungsweise nicht selten so genannte Hybridtechniken vor, bei denen verschiedene rotierende Nickel-Titan-Instrumente kombiniert zum Einsatz kommen. Die Hersteller bieten hingegen scheinbar immer einfacher werdende Systeme an, deren Verwendung in allen klinischen Fällen problemlos möglich sein soll. Sowohl die Fallselektion eines Behandlers als auch die Anwendungsweise eines Systems sollte über die Auswahl der Instrumente entscheiden. Das perfekte System für jeden Behandler und jeden Fall wird es auch in Zukunft nicht geben. Umso wichtiger erscheint es daher, die Vor- und Nachteile einzelner Systeme und Techniken zu kennen, um diese gezielt nutzen zu können. Der Beitrag gibt einen Einblick in Aufbereitungskonzepte, beschäftigt sich mit den geometrischen Details von rotierenden Instrumenten und fasst die bisherigen Erfahrungen mit verschiedenen Konzepten zusammen.

Einleitung

Ziel der mechanischen Wurzelkanalaufbereitung ist es, verbliebenes Pulpagewebe zu entfernen, Mikroorganismen und Späne abzutransportieren sowie das Wurzelkanalsystem in eine Form zu bringen, die eine desinfizierende Reinigung und vollständige Füllung ermöglicht⁵. Dabei sollte der präparierte Kanal den ursprünglichen Kanal umschließen, die apikale Konstriktion erhalten bleiben und der Kanal in einer apikalen Verengung enden sowie von koronal nach apikal konisch zulaufen⁵.

Der Einsatz von rotierenden Instrumenten aus einer Nickel-Titan (NiTi)-Legierung wurde 1988 erstmals beschrieben, heute kann dies als historische Hilfestellung bei dem Erreichen der oben genannten Ziele verstanden werden²³. NiTi-Instrumente sind daher auch bereits an vielen Universitäten selbstverständlicher Bestandteil der Ausbildung geworden. Die rotierende Aufbereitung wurde bereits 1999 in Westeuropa an 27 % der Universitäten gelehrt¹⁶. In Frankreich waren es 2004 81 % der Universitäten, die während der vorklinischen und klinischen Ausbildung die maschinelle Technik lehrten¹. In Deutschland bildeten 2007 63 % der Universitäten ihre Studierenden im vorklinischen Unterricht in dieser Technik aus.



David Sonntag

Priv.-Doz. Dr. med. dent.

Praxis für Endodontie
Wilhelm-Busch-Straße 42
35039 Marburg
E-Mail: david.sonntag@
med.uni-duesseldorf.de



Abb. 1 Zahn 16 mit frakturiertem NiTi-Instrument im mesiobukkalen Kanal

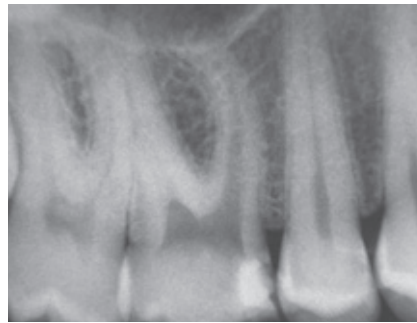


Abb. 2 Zahn 16 nach Fragmententfernung. Der Kanalverlauf ist nur bis zur Stufe im Bereich der apikalen Krümmung erkennbar



Abb. 3 Durch Anwendung von vorgebogenen Edelmetall-Handinstrumenten konnte ein Gleitpfad geschaffen werden. Mit vorgebogenen NiTi-Instrumenten wurde die Stufe geglättet und der Kanal erweitert

Gegenüber manuell eingesetzten Edelmetallinstrumenten haben NiTi-Instrumente unstrittig zahlreiche Vorteile. Dennoch empfehlen die meisten Autoren und Hersteller eine Kombination von Edelmetall- und NiTi-Instrumenten. Edelmetallinstrumente wendet man bei der heutigen Behandlung primär zur Austastung des Kanalsystems, zur elektrometrischen Längenbestimmung und zur Ausarbeitung eines Gleitpfades an. Handinstrumente aus Edelmetall werden entsprechend dem Neigungswinkel der Schneide zur Längsachse des Instrumentes von stoßend-ziehend bis hin zu drehend eingesetzt. Zu den unterschiedlichen Feilenbewegungen treten Konzepte wie die Step-back-Technik², die standardisierte Technik⁹, die Crown-down-Technik⁸ und die Balanced-Force-Technik^{3,16} hinzu.

Anders als Handinstrumente aus Edelmetall kommen NiTi-Instrumente der etablierten Systeme immer in einer vollständigen 360°-Rotation zum Einsatz. Die Anwendung von NiTi-Systemen in einer Bewegung ähnlich den Handinstrumenten (Hubbewegung, Teilbewegung gegen den Uhrzeigersinn) konnte sich bis heute nicht durchsetzen. Galt bei den ersten Systemen noch das Konzept der Crown-down-Technik als unumstößliches Vorgehen^{10,20}, existieren mittlerweile doch bereits verschiedene Konzepte, die u. a. eine Aufbereitung auf der vollen Arbeitslänge von Beginn an empfehlen (Lightspeed, Mtwo, BioRace etc.). Bei genauerer Betrachtung erforderten jedoch auch die ersten Systeme (ProFile, FlexMaster, ProTaper) keine alleinige Crown-down-Technik, sondern ein kombiniertes Vorgehen. Nach Erreichen der vollen Arbeitslänge wurde auf dieser Länge mit Instrumenten zunehmender Größe die so genannte apikale Erweiterung durchgeführt.

Als wären die vorhandenen Unterschiede nicht bereits verwirrend genug, setzen klinisch tätige Spezialisten für Endodontie nicht selten mehrere verschiedene Systeme zur Aufbereitung ein. Nicht alle Fälle sind zuverlässig mit nur einem System zu lösen. Für die Überwindung von Stufen im Kanalsystem, die Aufbereitung abrupter Krümmungen und das Erreichen von tief liegenden Fragmenten oder Perforationen kann unter Umständen der kombinierte Einsatz von eher aktiv schneidenden und eher passiv arbeitenden NiTi-Systemen mit stark unterschiedlicher Konizität hilfreich sein¹² (Abb. 1 bis 3).

Die Auswahl der anzuwendenden Instrumente hängt von dem individuellen Fall sowie den Vorlieben und dem Wissen des Behandlers ab. Für den strukturierten und kombinierten Einsatz verschiedener NiTi-Instrumente sollte dieser die grundsätzlichen Unterschiede der Systeme kennen. Um Instrumente zielführend einsetzen zu können, ist es überaus hilfreich, eine Vorstellung davon zu haben, wo das jeweils benutzte Instrument im Kanal Dentin in welcher Form abträgt.

Der vorliegende Beitrag soll den Leser dabei unterstützen, die für ihn richtige Auswahl eines oder mehrerer Systeme entsprechend seinem Behandlungsspektrum zu treffen.

Bewegung von maschinellen NiTi-Instrumenten

Bei der maschinellen Aufbereitung werden bis heute NiTi-Instrumente zumeist kontinuierlich um 360° mit Umdrehungsgeschwindigkeiten zwischen 150 und 2.000 U/min



rotiert^{4,15}. Diese Bewegung hat sich bewährt, da das Instrument sich bei kontinuierlicher Rotation eigenständig nach apikal bewegt, Dentinabrieb nach koronal transportiert wird und die ursprüngliche Kanalgeometrie vorhersagbar beibehalten werden kann. Gegenüber älteren maschinell betriebenen Instrumenten mit Hubbewegungen, reziproken Viertelkreisen etc. hat erst die rotierende Arbeitsweise mit NiTi-Instrumenten den Durchbruch in der weitgehenden Beibehaltung der originären Kanalgeometrie gebracht. Die große Mehrheit von Studien zur rotierenden Aufbereitung bescheinigt dieser Aufbereitungsform einen sehr guten Erhalt der ursprünglichen Kanalgeometrie mit einer nur geringfügigen Kanalbegradigung^{11,18,19}. Ein guter Erhalt der Kanalgeometrie kann auch von ungeübten und wenig erfahrenen Behandlern erzielt werden^{6,7,13,14}.

Einzelne Autoren sehen jedoch Vorzüge in einer Bewegung, wie sie von *Roane* und *Sabala*¹⁷ in ihrem Beitrag mit dem Titel „Clockwise or counterclockwise“ diskutiert worden ist. 2005 wurde in der Anwendung einer als „Anatomic Endodontic Technology“ bezeichneten Aufbereitungssequenz die wechselnde Bewegung im Uhrzeigersinn und gegen diesen („watch-winding“; reziproke Bewegung, engl. „reciprocation“) empfohlen. Zur Anwendung kamen speziell für diesen Einsatz gestaltete Edelstahlinstrumente in einem ursprünglich für die rotierende Aufbereitung mit NiTi-Instrumenten vorgesehenen ATR-Motor. Diese Technik konnte sich aber bis heute nicht durchsetzen.

Die so genannte Watch-winding-Bewegung mit und gegen den Uhrzeigersinn hat *Yared*²⁵ aufgegriffen und die Aufbereitung von Wurzelkanälen mit nur einem einzigen NiTi-Instrument (ProTaper F2) beschrieben. Nach Austastung des Kanalsystems mit einer Feile der ISO-Größe 08 soll hierbei der Kanal in einer Bewegung mit dem Uhrzeigersinn (4/10) und gegen den Uhrzeigersinn (2/10) aufbereitet werden. Da bei der Publikation seiner ersten Beobachtungen jedoch keine Kontrollgruppe vorhanden war, kann zu der Qualität der Aufbereitung und zum Erfolg im Vergleich zu traditionellen Systemen keine Aussage getroffen werden. Der Autor selbst schränkt weiterhin ein, dass die Verwendung von nur einem NiTi-Instrument lediglich bei Wurzelkanälen ohne abrupte Krümmung sowie einer dem Instrument entsprechenden ISO-Größe möglich sei.

Geometrie von rotierenden Instrumenten

In der Literatur werden verschiedene Feilensysteme mit positiven, neutralen oder passiven Schneidewinkeln, gleichmäßigen oder ansteigenden Konizitäten, unterschiedlichen Wirkwinkeln und anderen konstruktiven Merkmalen beschrieben.

Winkel der Schneidengeometrie

Im Folgenden werden kurz Definitionen von drei wichtigen Winkeln genannt, die Unterschiede zwischen verschiedenen Aufbereitungsinstrumenten kennzeichnen. Mit Hilfe der vorgestellten Nomenklatur können unterschiedliche Feilenparameter klassifiziert werden.

- Der Neigungs-, Schneidekanten oder Verzahnungswinkel („helical angle“) gibt die Neigung der Schneidekante in Bezug auf die Instrumentenlängsachse an. Bei definierter Länge des Arbeitsteils gilt: Je höher die Anzahl der Schneiden, desto größer ist der Neigungswinkel (Schneidekantenwinkel).
- Der Schnittwinkel („cutting angle“) ist der Winkel zwischen der zu bearbeitenden Oberfläche und der Vorderfläche des Schneidkeils. Schnittwinkel und Spanwinkel bilden gemeinsam 90°.
- Der Spanwinkel („rake angle“) ist der Winkel zwischen der Vorderfläche des Schneidkeils und dem 90°-Winkel zur bearbeiteten Kanaloberfläche. Positive Spanwinkel bedeuten generell niedrigere Schnittkräfte als negative Spanwinkel.

Bezüglich der auf dem Markt angebotenen NiTi-Feilen wird von negativen, neutralen und positiven Spanwinkeln (oder auch Schneidenwinkeln) gesprochen. Bei den in einer früheren Untersuchung von uns willkürlich ausgewählten Einzelfeilen (FlexMaster, K³, Profile, ProTaper, RaCe) unterschiedlicher Konizität konnten lediglich negative Schneidenwinkel gefunden werden, die zwischen -20° und -50° variierten. Negative Schneidenwinkel führen dazu, dass die Instrumente schaben und nicht schneiden. Bei schabender Bewegung werden für einen definierten Materialabtrag deutlich höhere Kräfte benötigt, als dies bei einem positiven Spanwinkel der Fall ist. Dieser Aspekt spielt auch für die auf ein Instrument einwirkende Kraft eine nicht unerhebliche Rolle. Die Schneidfähigkeit einer

Feile wirkt sich entscheidend auf die Größe der insgesamt aufzuwendenden Kraft aus; dabei wachsen die Axialkräfte zwangsläufig mit dem Durchmesser der Feile. Klinisch macht sich dieser Sachverhalt dadurch bemerkbar, dass nicht die Feilen kleinster Größen, sondern vielmehr solche mit einem mittleren Durchmesser frakturieren. Ab einer gewissen Querschnittsfläche des Instrumentes besitzen die Feilen dann wieder eine hinreichend hohe Stabilität und Steifheit, um der Torsions- und Biegebelastung sicher und dauerhaft standhalten zu können.

Konizität der Aufbereitungsinstrumente

Je weiter und je konischer ein Kanal präpariert ist, umso besser kann die Spüllösung in das Kanalsystem gelangen. Bei manueller Präparation im Sinne eines zirkumferenten Feilens werden im koronalen, teilweise auch im mittleren Kanaldrittel Konizitäten von 10 % oder mehr erreicht. Bei rotierender Aufbereitung lassen sich solch hohe Konizitäten jedoch nur mit wenigen Instrumenten automatisch realisieren; zumeist ist eine bestimmte Feilenbewegung erforderlich, um eine ideale Kanalkonizität zu erzielen. Die meisten zurzeit erhältlichen Systeme weisen zwei bis vier unterschiedliche Konizitäten auf, die innerhalb des Arbeitsteils nicht variieren. Eine Ausnahme bildet das Pro-Taper (progressive taper)-System, mit dem innerhalb eines Instrumentes ansteigende Konizitäten erreicht werden.

Da mit zunehmender Konizität der Aufbereitungsinstrumente jedoch auch der Kerndurchmesser des Instrumentes zunimmt und somit die Flexibilität sinkt, ist eine hohe Konizität an ein bestimmtes Querschnittsprofil gebunden. FlexMaster-Feilen sind beispielsweise aufgrund der konvexen Außenflächen in der Lage, auch bei geringer Konizität den Torsions- und Biegebelastungen zu widerstehen, und werden in Konizitäten ab 2 % angeboten. Andererseits verlieren diese Feilen bei höheren Konizitäten schnell die gewünschte Flexibilität, da sie im Querschnitt eine ca. 30 % größere Oberfläche aufweisen als Instrumente mit konkaven Außenflächen (z. B. Triple-U-Feilen)^{21,22}. GT-Feilen, die eine Weiterentwicklung des Profile-Systems darstellen, können aus diesem Grund in hohen Konizitäten bei hinreichender Flexibilität angeboten werden. Eine Weiterentwicklung in Bezug auf Flexibilität stellt eine laut Herstellerangaben durchgeführte Hitzebehandlung zu so genanntem M-Wire dar (z. B. bei Twisted Files, GTX, ProFile Vortex). Aber auch geometrische Veränderungen zu Instrumenten mit nur noch zwei

Schneiden (Mtwo) führen zu einer höheren Flexibilität der Instrumente gegenüber den traditionellen Systemen mit drei Schneiden.

Abstand und Anzahl der Schneiden

Die Anzahl der Schneiden pro Länge des Arbeitsteils eines Instrumentes ist für die Effizienz der Aufbereitung ebenfalls von Bedeutung. Bei Handinstrumenten, die je nach Feilentyp drehend, schabend oder feilend eingesetzt werden, konnte eine unterschiedliche Anzahl von Schneiden als ideal für die Aufbereitung ermittelt werden.

Im Herstellungsprozess durch Schleifen wird bei den meisten NiTi-Feilen ebenso wie bei der Anfertigung von Edelstahlfeilen ein zur Spitze hin abnehmender Abstand der Schneiden mit einem zunehmenden Neigungswinkel erzeugt. Dies soll einen allseitig gleichmäßigen Materialabtrag ermöglichen, indem die Längsachse des Instrumentes besser im Kanallumen zentriert wird. Weiterhin kann damit die Arbeitsbelastung gleichmäßiger auf das Instrument übertragen werden. Diese Instrumentengeometrie verhindert jedoch auch ein schnelles Eindrehen der Feile in den Kanal. Abstand und Neigung der Schneiden verhalten sich damit umgekehrt wie bei den heute marktüblichen (Holz-)Schrauben. Diese sind so konstruiert, dass der Neigungswinkel zur Spitze hin flacher wird und die Anzahl der Schneiden abnimmt. Der Neigungswinkel der Schneide hat auch einen Einfluss auf die Größe der abgetragenen Dentinspäne und deren Abtransport. Je geringer der Neigungswinkel, umso besser werden die Späne aus der Schneidzone entfernt.

Entscheidender als die Anzahl der Schneiden ist jedoch der Querschnitt einer Feile. Instrumente mit dreieckigem Querschnitt zeigen eine größere Schneidleistung als Feilen mit quadratischem Querschnitt. Dieses Erkenntnis wird auch von den Herstellern rotierender Aufbereitungsinstrumente genutzt, indem überwiegend Feilen mit drei Schneiden auf dem Markt vorhanden sind.

Aktive und passive Instrumente

Eine Klassifikation der Feilen in aktive, semiaktive und passive NiTi-Instrumente taucht seit mehreren Jahren auf nationalen und internationalen endodontischen Kongressen sowie mitunter auch in der Fachliteratur auf. Diese Einteilung geht auf *Ben Johnson* zurück und bezieht sich auf die Schneidfreudigkeit eines Instrumentes aufgrund



seiner Geometrie. Als passiv werden Instrumente mit seitlichen Führungsflächen bzw. einem „radial land“ bezeichnet (Profile, GT, Lightspeed). Aktive Instrumente verfügen über eine Schneidekante ohne „radial lands“. Sie besitzen damit einen deutlich ausgeprägten Freiwinkel und zeigen eine höhere Abtragsleistung. Zu dieser Gruppe zählen beispielsweise FlexMaster-, RaCe- und ProTaper-Instrumente.

Die noch immer anzutreffende Vorstellung, dass aktive Instrumente aufgrund eines vermeintlich positiven Spannwinkels Dentin regelrecht schneiden, konnte bis heute nicht bewiesen werden. Ein (effizient) schabender Abtrag erscheint hingegen deutlich wahrscheinlicher. Auch passive Instrumente leisten einen schabenden Abtrag, sind jedoch dabei deutlich weniger effizient und arbeiten somit substanzschonender.

Bei identischer Konizität aktiver und passiver Feilen sollte versucht werden, mit aktiven Instrumenten eher leicht gekrümmte Kanäle zu bearbeiten und auf eine Rekapitulation der erreichten Aufbereitungslänge zu verzichten. Mit passiven Instrumenten lassen sich auch stärker gekrümmte Kanäle bearbeiten, die selbst bei einer Rekapitulation den originären Kanalverlauf nur langsam verändern. In den Händen von unerfahrenen Behandlern können aktive Instrumente daher eher zu Verlagerungen des Kanals führen als passive Instrumente.

Erfahrende Behandler propagieren mitunter jedoch auch die Anwendung von aktiven Instrumenten bei starken Krümmungen. Das Geheimnis des Erfolges steckt hier in der Kürze der Verweildauer am Apex. Besteht der Wunsch, trotz starker Krümmung eine aktive Feile einzusetzen, so sollten mit ihr nur zwei bis drei Rotationen am Apex durchgeführt werden. Bei einer Umdrehungszahl von ca. 280 U/min bedeutet dies eine apikale Verweildauer von 0,5 Sekunden auf Arbeitslänge. Rotiert das Instrument länger auf der vollen Arbeitslänge, so ist die Gefahr einer Begradigung oder einer geometrischen Veränderung im Sinn einer so genannten Elbow-Formation gegeben (Abb. 4).

Kombinierte Anwendung von Instrumenten

Die kombinierte Anwendung von Instrumenten hat das Ziel, eine ideale Präparation zu erreichen. Dazu sind jedoch vorbereitende Schritte erforderlich, die über die Verwendung einzelner NiTi-Instrumente hinausgehen. Eine so genannte biomechanische Aufbereitung kann im Sinn

Abb. 4 Die abrupte Krümmung bei Zahn 47 konnte nach Schaffung eines Gleitpfades mit passiven Instrumenten mit wenigen Rotationen eines aktiv schneidenden Instrumentes aufbereitet werden

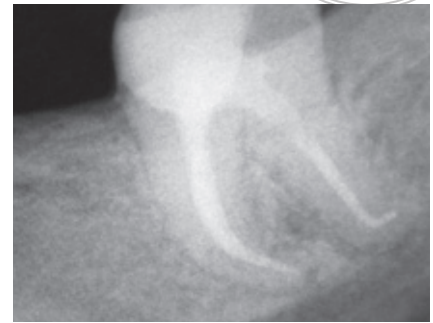


Abb. 5 Das dargestellte Instrument ist gut geeignet, NiTi-Feilen entsprechend den individuellen Erfordernissen des Falls vorzubiegen

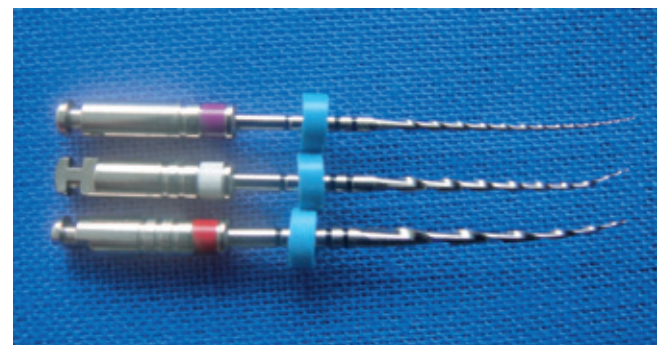


Abb. 6 Vorgebogene NiTi-Instrumente bis zur ISO-Größe 25 bei einer Konizität von bis zu 6 %

einer Crown-down-Technik in den folgenden acht Arbeitsschritten vorgenommen werden:

1. Trepanation,
2. geradliniger Zugang zum Kanalsystem,
3. Bestimmung der Arbeitslänge,
4. Schaffung eines Gleitpfades,
5. Erweiterung des koronalen und mittleren Kanaldrittels („body shaping“),



6. Bestimmung des apikalen Durchmessers,
7. erneute elektrometrische Längenbestimmung und
8. apikale Präparation.

Je stärker die apikale Krümmung und je geringer die Konizität des Kanals im apikalen Kanalanteil ist, umso eher sollte die apikale Erweiterung mit einem passiven Instrument erfolgen. Bei sehr starken, abrupten Krümmungen ist es jedoch auch möglich, NiTi-Feilen mit einem speziellen Instrument (Endo-Bender, Fa. SybronEndo, Orange, USA) vorzubiegen und sie gezielt entsprechend der Krümmung von Hand einzusetzen (Abb. 5 und 6).

Walsch²⁴ stellte in einem 2004 publizierten Artikel eine Hybridtechnik vor, die kürzlich in einer australischen Untersuchung Anwendung fand und sehr gute Resultate erzielte¹². Bei komplizierten Fällen schlug der Autor vor, nach der Aufbereitung des koronalen und mittleren Drittels mit (aktiven) ProTaper-Instrumenten die apikale Erweiterung mit (passiven) GT/ProFile-Instrumenten durchzuführen. Bei sehr komplizierten Fällen empfiehlt

er die rotierende oder auch manuelle Anwendung von LightSpeed-Instrumenten.

Abschließende Betrachtung

Die Kenntnis geometrischer Details und der bestmöglichen Anwendungsweise von rotierenden NiTi-Instrumenten kann zu einer idealen Erweiterung und einer optimalen Keimreduktion des gesamten Kanalsystems beitragen. Nicht selten lassen sich in einem zweidimensionalen Röntgenbild s-förmige Kanalverläufe, abrupte Krümmungen oder Stufen jedoch nicht erkennen. Neben den technischen Voraussetzungen und dem vorhandenen Wissen sind daher klinische Erfahrung, Umsicht und Geduld für eine erfolgreiche mechanische Aufbereitung ebenfalls entscheidend. Bei der Kanalerweiterung liegen die Grundpfeiler trotz modernster Technologie noch immer in einem systematischen Vorgehen von koronal nach apikal. Rotierende NiTi-Systeme stellen heute jedoch ein Hilfsmittel dar, auf das keinesfalls mehr verzichtet werden sollte.

Literatur

1. 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; 37:320-324.
2. Clem WH. Endodontics: the adolescent patient. *Dent Clin North Am* 1969;13:482-493.
3. Cruz EV, Jimena ME, Puzon EG, Iwaku M. Endodontic teaching in Philippine dental schools. *Int Endod J* 2000;33:427-434.
4. Dietz DB, Di Fiore PM, Bahcall JK, Lautenschlager EP. Effect of rotational speed on the breakage of nickel-titanium rotary files. *J Endod* 2000;26:68-71.
5. European Society of Endodontology. Quality guidelines for endodontic treatment: consensus report of the European Society of Endodontology. *Int Endod J* 2006;39: 921-930.
6. Garip Y, Gunday M. The use of computed tomography when comparing nickel-titanium and stainless steel files during preparation of simulated curved canals. *Int Endod J* 2001;34:452-457.
7. Gluskin AH, Brown DC, Buchanan LS. A reconstructed computerized tomographic comparison of Ni-Ti rotary GT files versus traditional instruments in canals shaped by novice operators. *Int Endod J* 2001;34: 476-484.
8. Goerig AC, Michelich RJ, Schultz HH. Instrumentation of root canals in molar using the step-down technique. *J Endod* 1982;8:550-554.
9. Ingle JI. A standardized endodontic technique utilizing newly designed instruments and filling materials. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1961;14:83-91.
10. 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;33:268-271.
11. Liu SB, Fan B, Cheung GS et al. Cleaning effectiveness and shaping ability of rotary ProTaper compared with rotary GT and manual K-Flexofile. *Am J Dent* 2006;19:353-358.
12. Moore J, Fitz-Walter P, Parashos P. A micro-computed tomographic evaluation of apical root canal preparation using three instrumentation techniques. *Int Endod J* 2009;42:1057-1064.
13. Namazikhah MS, Mokhlis HR, Alasmakh K. Comparison between a hand stainless-steel K file and a rotary NiTi 0.04 taper. *J Calif Dent Assoc* 2000;28:421-426.
14. Peru M, Peru C, Mannocci 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;10:52-59.
15. Poulsen WB, Dove SB, del Rio CE. Effect of nickel-titanium engine-driven instrument rotational speed on root canal morphology. *J Endod* 1995;21:609-612.
16. Qualtrough AJ, Whitworth JM, Dummer PM. Preclinical endodontology: an international comparison. *Int Endod J* 1999;32:406-414.
17. Roane JB, Sabala C. Clockwise or counter-clockwise. *J Endod* 1984;10:349-353.
18. Rödiger T, Hülsmann M, Kahlmeier C. Comparison of root canal preparation with two rotary NiTi instruments: ProFile .04 and GT Rotary. *Int Endod J* 2007;40:553-562.
19. Samyn JA, Nicholls JJ, Steiner JC. Comparison of stainless steel and nickel-titanium instruments in molar root canal preparation. *J Endod* 1996;22:177-181.
20. Schäfer E, Erler M, Dammaschke 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;39:203-212.
21. Turpin YL, Chagneau F, Bartier, Cathelineau G, Vulcain JM. Impact of torsional and bending inertia on root canal instruments. *J Endod* 2001;27:333-336.
22. Turpin YL, Chagneau F, Vulcain JM. Impact of two theoretical cross-sections on torsional and bending stresses of nickel-titanium root canal instrument models. *J Endod* 2000;26:414-417.
23. Walia HM, Brantley WA, Gerstein H. An initial investigation of the bending and torsional properties of Nitinol root canal files. *J Endod* 1988;14:346-351.
24. Walsch H. The hybrid concept of nickel-titanium rotary instrumentation. *Dent Clin North Am* 2004;48:183-202.
25. Yared G. Canal preparation using only one Ni-Ti rotary instrument: preliminary observations. *Int Endod J* 2008;41:339-344. 