



Michael Arnold

Fraktur eines Instruments mit Titannitrit-Beschichtung Analyse eines Zwischenfalls

INDIZES

Fragment, Fragmententfernung, Rasterelektronenmikroskop, Titannitrit, Nickel-Titan

ZUSAMMENFASSUNG

Nickel-Titan-Feilen unterliegen sowohl im Herstellungsprozess als auch in der klinischen Anwendung einem kontinuierlichen Verschleiß, sodass im Einzelfall im Verlauf einer Wurzelkanalbehandlung die Fraktur eines Wurzelkanalinstruments auftreten kann. Welche konkreten Bedingungen vorlagen, die zur Fraktur führten, lässt sich mit Hilfe der intrakoronalen Befundaufnahme und Diagnostik abschätzen. Mit dem Raster-Elektronenmikroskop können weitere ursächliche Faktoren ermittelt und Vorschläge zur Minimierung des Frakturrisikos erarbeitet werden. Im präsentierten Fall waren herstellungsbedingte Mängel wie beispielsweise die unvollständige Beschichtung der Feile mit Titannitrit (TiN) nicht die Ursache der Fraktur des Wurzelkanalinstruments, sondern eine Kombination aus Torsions- und Biegeermüdung der Legierung. Anatomische Bedingungen begünstigten eine Überbelastung der mehrfach genutzten Feile.

Einleitung

Die Nutzung des Werkstoffs Nickel-Titan (NiTi) zur Herstellung von Wurzelkanalinstrumenten hat die Möglichkeiten der mechanischen Wurzelkanalerweiterung verbessert und erleichtert¹. Nachteilig erscheint das im Vergleich zu Handinstrumenten vermutete häufigere Auftreten von Instrumentenfrakturen bei deutlich geringerer Anwendungshäufigkeit. Dabei schwanken die Angaben zwischen 0,5 und 23 %²⁻⁴. Vor allem die wiederholte Nutzung von NiTi-Instrumenten führt zu einer erhöhten Gefahr einer Instrumentenfraktur, da die Legierung durch die wiederholte Belastung ermüdet^{5,6}.

Die Wiederaufbereitung und erneute Anwendung rotierender NiTi-Instrumente ist im Einzelfall möglich, wird jedoch an verschiedene Voraussetzungen gebunden. So müssen die Angaben des Herstellers zur Anwendung und Wiederaufberei-

tung beachtet und eingehalten werden⁷. Darüber hinaus muss der Verschleiß der Legierung durch den Zahnarzt ermittelt werden. Dies erfolgt optimalerweise einerseits über eine visuelle Kontrolle unter vergrößerter Betrachtung mit einer Lupe oder einem Lichtmikroskop und andererseits über ein subjektives Abschätzen der Ermüdung der NiTi-Legierung. Dieses Abschätzen ist von der Erfahrung und dem Wissensstand des Zahnarztes zu den jeweils eingesetzten Feilensystemen abhängig. Trotz größter Sorgfalt gibt es Fälle, in denen eine Fraktur des Instruments aus scheinbar unerklärlichem Grunde erfolgt. Wurde das Instrument durch einen zu häufigen Einsatz belastet, kann sich auch bei Einhaltung der maximalen Nutzungswerte ein Ermüdungsbruch entwickeln. Wird das Instrument einem zu hohen Arbeitsdruck im Fall einer Obliteration oder starken Krümmung ausgesetzt, kann in der Legierung ein Torsionsbruch auftreten⁸⁻¹⁰. Darüber hinaus kann

Abb. 1 Ausgangsröntgenaufnahme: Zahn 27 mit Verdacht auf Instrumentenfragment in der mesiobukkalen Wurzel. Die Wurzelkanäle scheinen stark verengt zu sein.



es im Verlauf der Wiederaufbereitung zu einem erhöhten Verlust der Schneidfähigkeit oder sogar zu einem Korrosionsprozess kommen, sodass die Leistungsfähigkeit und Widerstandsfähigkeit vermindert werden¹¹⁻¹³. Schließlich kann auch ein Materialfehler als Ursache für eine Fraktur eines Wurzelkanalinstruments nicht ausgeschlossen werden¹⁴. Die Suche nach der eigentlichen Ursache der Fraktur ist keine Suche nach einem Schuldigen, sondern vielmehr die Suche nach begünstigenden Faktoren, die dann durch geeignete Maßnahmen verändert werden können¹⁵.

Ursachensuche mit dem Rasterelektronenmikroskop

Mit dem Rasterelektronenmikroskop (REM) können die Oberflächen unbenutzter oder benutzter Wurzelkanalinstrumente analysiert^{14,16} und die Instrumente auf Form- und Größenabweichungen untersucht werden^{17,18}. Unter Nutzung eines Desktop-REM Phenom XL (Fa. Thermo Fischer Scientific Phenom-World, Eindhoven, Niederlande) wurden bei einer bis zu 100.000fachen Vergrößerung Bruch- und Oberflächenanalysen sowie eine Prüfung der Materialzusammensetzung des Werkstoffs und einzelner Auflagerungen eines frakturierten Instruments durchgeführt. Untersucht wurden das orthograd entfernte NiTi-Fragment, eine in der Praxis in Gebrauch befindliche NiTi-Feile gleicher Art und ein unbenutztes Instrument gleicher

Größe. Ziel der Untersuchung war es, Ursachen der Fraktur des Instruments zu ermitteln.

Falldarstellung

Die 45-jährige Patientin wurde aufgrund einer Instrumentenfraktur nach einer begonnenen Wurzelkanalbehandlung am Zahn 27 überwiesen. Die initiale Behandlung erfolgte im zahnärztlichen Notdienst unter Verwendung von Handfeilen und einer maschinellen NiTi-Feile vor der Applikation einer medikamentösen Einlage. Nach Darstellung der Wurzelkanaleingänge und einer Gleitpfadpräparation mit Handfeilen bis zur ISO-Größe 20 wurde die NiTi-Feile AlphaKite (Fa. Komet Dental, Lemgo) in der Größe 35 zur Wurzelkanaleingangserweiterung genutzt. Im Verlauf der Therapie frakturierte diese Feile ohne bewusste Fehlbelastung und ohne äußeres Zeichen einer Verformung. Die Spontanfraktur des Instruments war für den Zahnarzt nicht erklärlich.

Die Patientin war seit dem Behandlungsbeginn frei von Schmerzen und wollte den Zahn langfristig erhalten. Allgemeine und spezifische Anamnese waren unauffällig. Im Verlauf der Befundaufnahme waren die Sulkussondierungswerte mit 4 mm leicht erhöht und mit einer lokalen Blutung auf Sondierung assoziiert. Der axiale und horizontale Perkussionstest verlief ohne Schmerzreiz. Die Zahnbeweglichkeit war mit Grad I leicht erhöht. Der thermische und elektrische Sensibilitätstest verliefen negativ.

Auf der intraoralen Röntgenaufnahme konnte ein metall dichtes Objekt im mesiobukkalen Wurzelkanal dargestellt werden (Abb. 1). Zur weitergehenden Diagnostik wurde eine DVT-Aufnahme angefertigt (Abb. 2). Eine starke Erweiterung des mesiobukkalen Wurzelkanals bis zum Fragment ließ einen ersten Entfernungsversuch vermuten (Abb. 2a). Das metall dichte Objekt hatte eine Länge von 3 mm und lag mit seiner Spitze an der tiefen Aufteilung des mesiobukkalen Wurzelkanalsystems vom Typ VI nach Vertucci¹⁹ (Abb. 2b). Die Wurzelkanäle erschienen bis über das Foramen apicale hinaus erweitert zu sein. Palatinal war eine apikale Aufhellung zu erkennen (Abb. 2c).



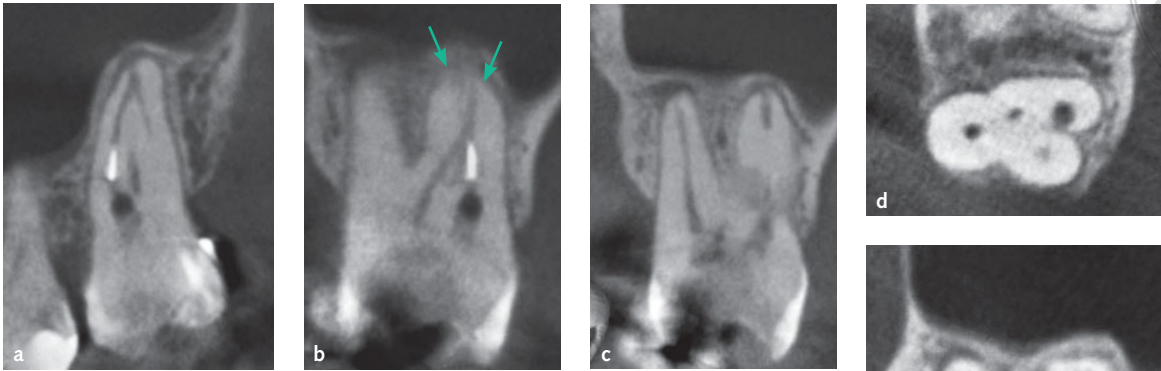


Abb. 2 a bis e Auf der DVT-Aufnahme sind die Wurzelkanäle in normaler Größe sicher zu erkennen: In der sagittalen Projektion beträgt die Länge des frakturierten Instrumentes 3 mm (a). Die schwierige Wurzelkanalanatomie besteht in einer erneuten Aufteilung der mesiobuccalen Wurzelkanalanatomie unterhalb der Wurzelkrümmung (Pfeile). Eine Torsionsfraktur als Folge eines Einklemmens des Instruments kann vermutet werden (b). Der Verdacht der apikalen Aufhellung auf der zweidimensionalen Röntgenaufnahme bestätigt sich nur palatinal (c). In der axialen Ansicht lässt sich der konfluierende Verlauf der bukkalen Wurzelkanäle verfolgen (d und e).



Abb. 3 Die Sicht in die nach mesiobukkal erweiterte endodontische Zugangskavität bei 16-facher Vergrößerung ermöglicht eine erste Analyse. Zahnhartgewebe verengen den Zugang zum Wurzelkanalsystem. Der MB2 wurde noch nicht aufgefunden.

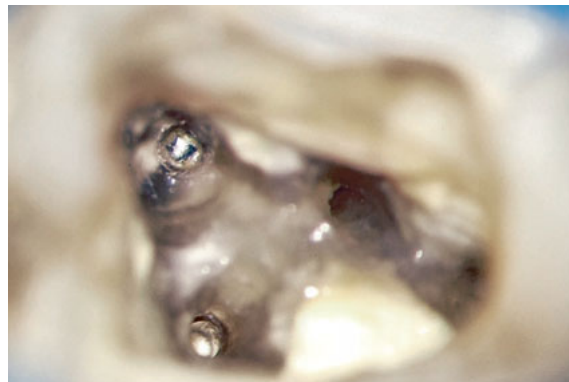


Abb. 4 Nach Abtrag des Sekundärdentins ist das Fragment mit einem dreieckigen Querschnitt im mesiobuccalen Wurzelkanal zu sehen.

Die mesiobuccalen Wurzelkanäle vereinigten sich am Apex mit dem distobuccalen Wurzelkanal (Abb. 2d und e).

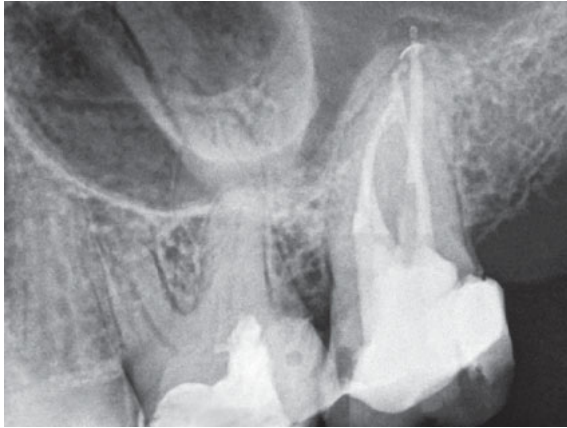
Bei der Diagnose einer chronischen apikalen Parodontitis und der intrakanalären mikrobiellen Infektion erschien die Entfernung des Fragments für den langfristigen Erhalt des Zahnes erforderlich zu sein.

Unter lokaler Anästhesie und absoluter Trockenlegung mit Kofferdam erfolgte nach der Präparation der endodontischen Zugangskavität die intrakoronale Befundaufnahme und Diagnostik (IKD)²⁰. Es war an der Verfärbung des Dentins zu erkennen, dass die Karies von distal bis in die Pul-

pakammer vorgedrungen war und somit die Infektion der Pulpa provoziert hatte. Am Boden der Pulpakammer haftete ein Anteil von transparentem Zahnhartgewebe. Der Wurzelkanaleingang zum MB 2 war mit sekundärem Dentin überdeckt (Abb. 3). Zur Entfernung des Fragments wurde es notwendig, den Dentinüberhang und die am Boden anhaftenden Gewebe vollständig zu entfernen, um einen geradlinigen Zugang zum Fragment und einen optimalen Zugang zum Wurzelkanalsystem zu schaffen (Abb. 4).

Die Entfernung des Fragments gelang nach einer initialen Freilegung in mesio-palatinaler Richtung, sodass das wandständig eingeschraubte

Abb. 5 Auf der Röntgenkontrolle in distalexzentrischer Projektion ist eine vollständige Wurzelkanalfüllung mit diskreter Überpresung von Sealer zu erkennen.



Fragment mit Ultraschall-Technik¹⁰ in Schwingung versetzt und vollständig entfernt werden konnte. Nach einer abschließenden Präparation der tiefen Aufteilung mesiobukkal²¹ und der Ausformung einer Widerstandsform der apikal weiten Wurzelkanäle mit ProFile 04-Instrumenten wurde der thermoplastische Verschluss mit Guttapercha und 2Seal (Fa. VDW, München) möglich (Abb. 5).

REM-Untersuchung

Das Fragment wurde ohne weitere mechanische Bearbeitung auf einem Kohlenstoff-Trägermodul mit Komposit befestigt und bei 15 kV unter Verwendung eines EDX-Detektors im REM analysiert. Zusätzlich zu dem entfernten Fragment wurde eine gleiche Feile aus der Notfall-Praxis zum Vergleich herangezogen. Die Feilen wurden nach Herstellerangaben wiederaufbereitet. Dazu wurden die Feilen im Komet-Tray aufbewahrt, im Thermodesinfektor gereinigt und anschließend im Autoklaven sterilisiert. Angaben zur Häufigkeit der Nutzung der intakten als auch der benutzten frakturierten Feile lagen nicht vor.

Untersuchung des Fragmentes

Der Grundwerkstoff der Feile besteht aus einer NiTi-Legierung. Die Feile vom Typ AlphaKite verfügt über eine Batt-Spitze mit einer Größe von 140 µm, die ein aktives Eindringen in das Dentin

verhindern soll. Die Größe D1 mit 361 µm liegt in der Toleranz des als Größe 35 ausgewiesenen Instruments. Die Feile wurde aus einem Rohkörper gefräst und nachträglich beschichtet. Die Beschichtung besteht aus Titan-Nitrit und ist nur noch rudimentär vorhanden (Abb. 6).

Die Oberfläche der Feilenspitze erscheint stark zerklüftet. Flächige und punktförmige Einbrüche auf der Beschichtung sind auf allen Seiten des Fragments zu beobachten, die Schneidekanten verfügen über keine Beschichtung mehr. Herstellungsbedingte Risse entlang der Schneidekante am Grat zeigen keine Anzeichen weiterer Ausbreitung trotz wiederholter Benutzung (Abb. 7).

Untersuchung der Vergleichsfeile

Die Feile gleicher Größe und vom gleichen Hersteller weicht in der Form und Größe an der Instrumentenspitze ab (Abb. 8). Der Durchmesser D1 liegt noch im Toleranzbereich, ist jedoch mit 371 µm größer als der Durchmesser der frakturierten Feile. Demgegenüber ist die Spitze mit 103 µm kleiner. Die Materialeigenschaften sind identisch im Vergleich zum Fragment. Die Beschichtung aus TiN ist in gleichem Maße unvollständig. Entlang der Schneidekante verfügt die Vergleichsfeile über keine Beschichtung mehr.

Trotz Reinigungsprozess nach den Vorgaben des Herstellers befinden sich Kohlenstoff-Ablagerungen auf der Feilenfläche und entlang der Schneidekante (Abb. 9a und b).

Auffällig ist, dass selbst an den mechanisch nicht strapazierten Anteilen der Feile die Beschichtung unvollständig ist. Industrielle Verunreinigungen innerhalb der Beschichtung und Risse sind auf dem Instrumentenschaft zu erkennen (Abb. 10). Aus diesem Grund wurde es erforderlich, eine unbenutzte Feile gleicher Größe zum Vergleich der vermuteten Fehler auf den benutzten Feilen heranzuziehen.

Untersuchung einer unbenutzten Feile

Die neue und unbenutzte Feile (LOT 822313) wird von der Firma unsteril ausgeliefert. Vor der Anwendung am Patienten sind daher Reinigung,

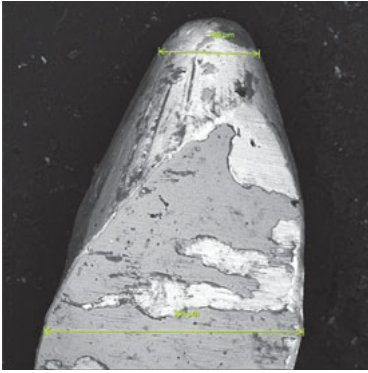


Abb. 6 Die Oberfläche der Instrumentenspitze des Fragments ist gekennzeichnet von herstellungsbedingten Rillen. Die Spitze ist passiv geformt und garantiert eine gute Führung innerhalb eines Wurzelkanals. Die Beschichtung der Feile ist inhomogen und teilweise blasig eingefallen.



Abb. 7 Entlang der Schneidekante ist keine Beschichtung mehr vorhanden. Der Grat weist typische Risse aus dem Herstellungsprozess auf.

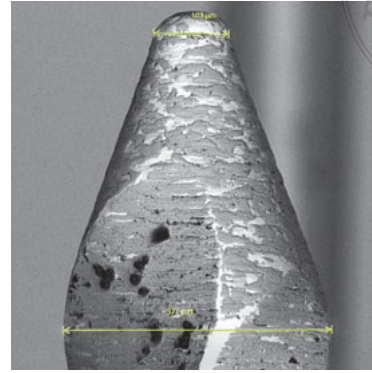


Abb. 8 Das benutzte Vergleichsinstrument weist im Vergleich zur frakturierten Feile eine kleinere Instrumentenspitze auf. Der Materialvergleich zeigt identische Werte zur frakturierten Feile.

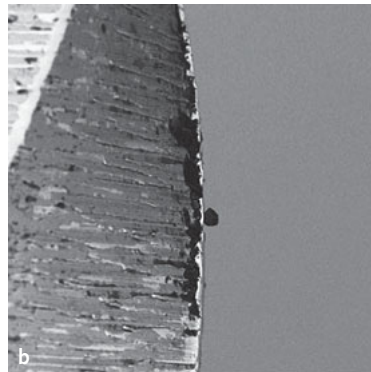
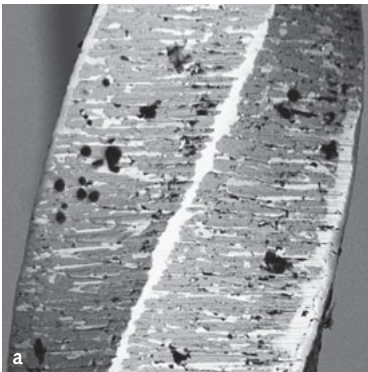


Abb. 9a und b Die raue Oberfläche der Feile bietet Retentionen für Ablagerungen: Entlang der Schneidekante ging die TiN-Beschichtung vollständig verloren (a). Trotz Reinigungs- und Sterilisationsprozess haften auf der Fläche und entlang des Grates Rückstände fest an (b).



Abb. 10 Auf der mechanisch unbenutzten Fläche liegt die TiN-Beschichtung unvollständig mit vereinzelt Einrissen vor.

Desinfektion und Sterilisation erforderlich. In der Empfehlung des Herstellers wird zur Reinigung eine Metall- oder Nylon-Reinigungsbürste angeraten⁷. Damit an der Oberfläche der neuen Feile keine mechanischen Irritationen den Originalzustand der Feile verändern, erfolgte vor der REM-Untersuchung keine Reinigung und Desinfektion.

Unter Sicht mit dem REM fanden sich deutlich mehr Rückstände auf der unbenutzten Feile als auf den benutzten, sodass die Empfehlung des Herstellers zur Reinigung nachvollziehbar ist.

Die Spitze des Instruments hat einen Durchmesser D1 von 391 μm und weicht damit von der als Größe 35 ausgewiesenen Größe deutlich ab (Abb. 11). Die Beschichtung der NiTi-Feile mit TiN

ist über die gesamte Feilenoberfläche unvollständig. Die Schichtstärke beträgt etwa 1 μm . Insbesondere auf den Schneidekanten liegt das Material nicht optimal auf. Spalten zwischen Beschichtung und NiTi lassen einen frühzeitigen Verlust bei mechanischer Beanspruchung vermuten (Abb. 12). Entlang der Schneidekante sind ausgedehnte Grate mit herstellungsbedingten Teilfrakturen zu erkennen (Abb. 13). Ebenso wie bei der benutzten Feile ist die Beschichtung am Schaft der Feile unvollständig. Risse sind in der Beschichtung und der Feile vorhanden. Benutzte und unbenutzte Feile unterscheiden sich in der Art der Beschichtung und den herstellungsbedingten Mängeln damit nicht.

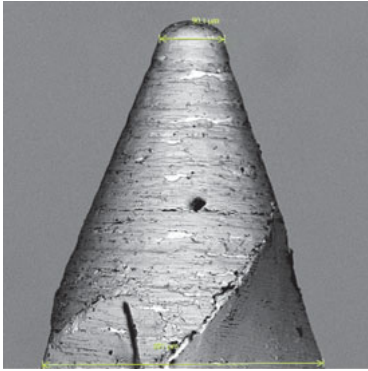


Abb. 11 Das unbenutzte Instrument weist die gleichen Beschichtungsfehler wie das benutzte Instrument auf. Die Materialzusammensetzung ist identisch zu den Vergleichsinstrumenten. Lediglich in der Dimension liegen Abweichungen vor, die jedoch nicht an der einheitlichen farblichen Codierung erkennbar sind.

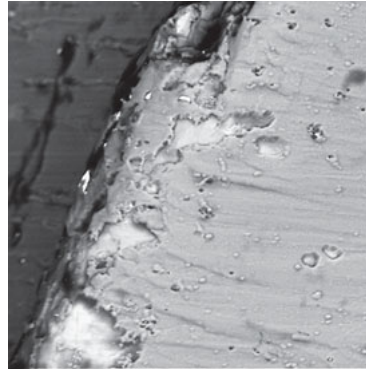


Abb. 12 Die Beschichtung auf der NiTi-Legierung ist entlang der Schneidekante inhomogen. Eine verbesserte Schneidleistung oder Reinigungsfähigkeit ist nicht zu erwarten.

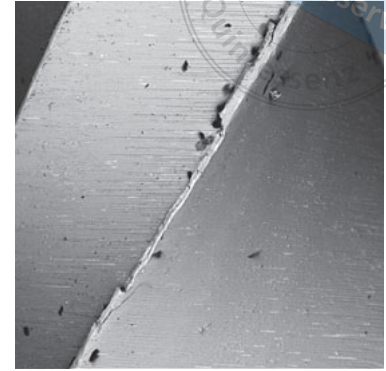


Abb. 13 Im Vergleich zu den benutzten Feilen sind teilfrakturierte, scharfkantige Grate entlang der Schneidekante des neuen Instruments zu erkennen.

Diskussion

Zur Verbesserung der Schneidleistung im Wurzelkanal werden NiTi-Feilen mit einer Titanitrit-Beschichtung produziert. Die Instrumente haben eine goldfarbene Oberfläche und erwecken allein durch die Beschichtung einen qualitativ hochwertigen Eindruck. Mit der Beschichtung sollen eine verbesserte und dauerhafte Schneidleistung und ein Abstumpfen durch Sterilisation oder Kontakt mit Natriumhypochlorit erzielt werden^{7,22}. Titanitrit ist eine Verbindung aus Stickstoff und Titan und ist eine Keramik. Typische Eigenschaften der Beschichtung sind je nach gewähltem Verfahren die hohe Härte (2400 HV) und die Reaktionsträgheit. Damit ist das Material beständig gegen Korrosion¹².

An den gebrauchten als auch der ungebrauchten NiTi-Feile ist zu erkennen, dass die Beschichtung mit 1 µm unvollständig vorlag. Die unbenutzte Feile wies scharfkantige Grate auf, die bei den benutzten Feilen in diesem Ausmaß nicht mehr zu erkennen waren. Damit erscheint allein durch die scharfkantigen Grate das neue Instrument gegenüber gebrauchten Feilen eine größere Schneidleistung im Test erreichen zu können. Die Beschichtung hat auf die Schneidleistung keinen entscheidenden Einfluss, da sie sich im Verlauf der Anwendung im Wurzelkanal von der NiTi-Feile löst. Diese Beobachtung wurde in einer In-vitro-

Untersuchung bestätigt: Bereits ohne mechanische Beanspruchung löste sich die Beschichtung nach mehreren Sterilisationsvorgängen von der Oberfläche der NiTi-Feile²³. An extrahierten Zähnen wurde ebenfalls nachgewiesen, dass bereits nach geringer Belastung Oberflächenveränderungen in Form von Rissen und Unterbrechungen der Schneidekante auftraten. Die TiN-Beschichtung zeigte dabei schlechtere Ergebnisse im Vergleich zur Elektropolitur²⁴.

Die Schneidleistung der frakturierten Feile war durch die Mehrfachnutzung und wiederholte Aufbereitung verringert. Typische Ermüdungsrisse fehlten sowohl bei der frakturierten als auch bei der in gleichem Maße wiederholt benutzten Feile. Trotz allem kann eine allgemeine Ermüdung der NiTi-Legierung durch die Mehrfachnutzung angenommen werden. Der große Durchmesser der Feile mit D1 von 0,35 mm bietet jedoch auch bei mehrfacher Nutzung einen widerstandsfähigen Kern, sodass grundsätzlich eine Mehrfachnutzung möglich erscheint. Mit einem großen Durchmesser der Feile bzw. einer großen Konizität nimmt die Flexibilität deutlich ab, sodass die Anwendung der Feile auf die Erweiterung des Wurzelkanaleingangs mit einem geradlinigen Zugang bis in das koronale Wurzeldrittel begrenzt werden sollte^{25,26}.

Die Ursache für die Fraktur scheint im vorliegenden Fall eine Kombination der Ermüdung der



Legierung und anatomisch begünstigender Faktoren zu sein. Die Lage des Zahnes 27 ermöglichte bei der vorliegenden substanzschonenden endodontischen Zugangskavität keinen geradlinigen Zugang in den mesiobukkalen Wurzelkanal. Damit wurde die mehrfach genutzte Feile in rotierender Bewegung einer zu starken Biegebelastung unterzogen, sodass sie letztlich frakturierte. Der mesiobukcale Dentinüberhang aus Sekundärdentin verstärkte die Biegebelastung der stark konischen NiTi-Feile im Vergleich zu einem geradlinigen Zugang. An der Stelle, an der die Spitze des Instruments die grazile Aufteilung erreichte, kam es zu einer zusätzlichen Torsionsbelastung. Die Kombination aus Torsionsbelastung, Biegebelastung und Ermüdung aufgrund wiederholter Nutzung ließ die Feile trotz korrekter Anwendung mit einem torquekontrollierenden Motor scheinbar spontan frakturieren. Auch wenn an dem Instrument eine insuffiziente TiN-Beschichtung vorlag und die Schneidekanten herstellungsbedingte Grate mit Teilfrakturen aufwiesen, kann kein direkter Zusammenhang mit der Fraktur abgeleitet werden.

Schlussfolgerungen

Eine TiN-Beschichtung lässt in der vorliegenden Fertigung keine verbesserte Schneidleistung und Reinigungsfähigkeit erwarten. Die Wiederaufbereitung der Instrumente mit einer TiN-Beschichtung führte auch dann zum fortschreitenden Verlust der Beschichtung, wenn sie nach Herstellerangaben vollzogen wurde.

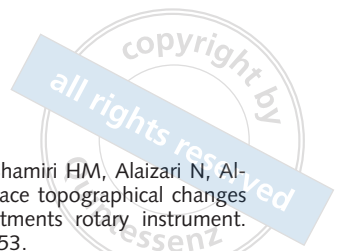
Maßgeblich für das Frakturverhalten der benutzten NiTi-Feile ist die Belastung der Feile während einer Wurzelkanalbehandlung. Insbesondere stark konische Instrumente können nur kurzzeitig in gekrümmten Wurzelkanälen genutzt werden^{26,27}. Die Einflussfaktoren sind so vielschichtig, dass sie aktuell noch nicht objektiv und individuell gemessen werden können²⁸. Die Wiederaufbereitung und Wiederverwendung der NiTi-Feile AlphaKite 35 ist grundsätzlich möglich, muss aber mit Blick auf die Risiken kritisch beurteilt werden^{13,29}. Insbesondere die raue Oberfläche der Legierung und die inhomogene Beschichtung lassen die feste Anlagerung

biologischer Rückstände zu und ermöglichen keine vollständige Reinigung. Im Interesse des Patienten empfiehlt sich deshalb die einmalige Nutzung^{13,29}.

Aufgrund der unterschiedlichen Testverfahren und der Vielzahl an NiTi-Instrumenten werden zur besseren Differenzierung der Eigenschaften standardisierte Testverfahren gefordert, die den klinischen Bedingungen näher kommen³⁰. In gleichem Maße sollten die am Patienten eingesetzten Instrumente auf herstellungsbedingte Fehler und Differenzen in den Dimensionen kontrolliert werden.

Literatur

1. 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.
2. Arens FC, Hoen MM, Steiman HR, Dietz GC Jr. Evaluation of single-use rotary nickel-titanium instruments. *J Endod* 2003;29:664–666.
3. Coelho MS, Rios MA, Bueno CEDS. Separation of nickel-titanium rotary and reciprocating instruments: a mini-review of clinical studies. *Open Dent J* 2018;12:864–872.
4. Sattapan B, Nervo GJ, Palamara JE, Messer HH. Defects in rotary nickel-titanium files after clinical use. *J Endod* 2000;26:161–165.
5. Bahia MG, Buono VT. Decrease in the fatigue resistance of nickel-titanium rotary instruments after clinical use in curved root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2005;100:249–255.
6. Gambarini G, Miccoli G, Seracchiani M, Morese A, Piasecki L, Gaimari G, Di Nardo D, Testarelli L. Fatigue resistance of new and used nickel-titanium rotary instruments: a comparative study. *Clin Ter* 2018;169:e96-e101.
7. http://cms.kometdental.de/fileadmin/_migrated/media/410214VO_DE_BRO_AlphaKite.pdf
8. Schwarze T. Das Bruchverhalten von Nickel-Titan-Instrumenten – Eine Literaturübersicht. *Endodontie* 2006;15:33–41.
9. Arnold M. Methoden zur orthograden Entfernung frakturierter Wurzelkanalinstrumente. Teil 1. *Endodontie* 2013;22:159–169.
10. Arnold M. Systematik einer orthograden Fragmententfernung. Teil 2. *Endodontie* 2013;22:257–266.
11. McGuigan MB, Louca C, Duncan HF. Endodontic instrument fracture: causes and prevention. *Br Dent J* 2013;214:341–348.
12. Starosvetsky D, Gotman I. Corrosion behavior of titanium nitride coated Ni-Ti shape memory surgical alloy. *Biomaterials* 2001;22:1853–1859.
13. Sonntag D. Nickel-Titan-Einweginstrumente Pro und Kontra. *Endodontie* 2017;26:293–298.
14. Park SY, Cheung GS, Yum J, Hur B, Park JK, Kim HC. Dynamic torsional resistance of nickel-titanium rotary instruments. *J Endod*. 2010 Jul;36(7):1200–4.
15. Barthel C, Flachsenberg S, Georgi M, Hülsmann M, Kockapan C, Neuber T, Petschelt A, Schäfer E, Weiger R. Die Fraktur von Wurzelkanalinstrumenten. Gemeinsame Stellungnahme der Deutschen Gesellschaft für Zahnerhaltung/ DGZ, der Arbeitsgruppe Endodontologie und Traumatologie der DGZ/AGET und der Deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde/DGZMK. *Dtsch Zahnärztl Z* 2007;62:534–535.
16. Kottoor J, Velmurugan N, Gopikrishna V, Krithikadatta J. Effects of multiple root canal usage on the surface topo-



- graphy and fracture of two different Ni-Ti rotary file systems. *Indian J Dent Res* 2013;24:42–47.
17. Tripi TR, Bonaccorso A, Tripi V, Condorelli GG, Rapisarda E. Defects in GT rotary instruments after use: an SEM study. *J Endod* 2001;27:782–785.
 18. Troian CH, Só MV, Figueiredo JA, Oliveira EP. Deformation and fracture of RaCe and K3 endodontic instruments according to the number of uses. *Int Endod J* 2006;39:616–625.
 19. Vertucci F, Seelig A, Gillis R. Root canal morphology of the human maxillary second premolar. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1974;38:456–464.
 20. Arnold M, Friedrichs C, Tulus G, Verch S, Denhardt H, Sanner F. Intrakoronale und intrakanaläre Diagnostik (IKD). *Endodontie* 2013;22:9–21.
 21. Arnold M, Paqué F. Management X-förmiger Wurzelkanalkonfigurationen bei ersten Oberkiefermolaren. *Endodontie* 2010;19:399–409.
 22. Schäfer E. Effect of sterilization on the cutting efficiency of PVD-coated nickel-titanium endodontic instruments. *Int Endod J* 2002;35:867–872.
 23. Spagnuolo G, Ametrano G, D'Antò V, Rengo C, Simeone M, Riccitiello F, Amato M. Effect of autoclaving on the surfaces of TiN -coated and conventional nickel-titanium rotary instruments. *Int Endod J* 2012;45:1148–1155.
 24. Qaed NA, Mourshed BD, Al-Shamiri HM, Alaizari N, Al-hamdah SS. The effect of surface topographical changes of two different surface treatments rotary instrument. *J Clin Exp Dent* 2018;10:e49-e53.
 25. Capar ID, Ertas H, Arslan H. Comparison of cyclic fatigue resistance of nickel-titanium coronal flaring instruments. *J Endod* 2014;40:1182–1185.
 26. 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;104:837–840.
 27. Wu J, Lei G, Yan M, Yu Y, Yu J, Zhang G. Instrument separation analysis of multi-used ProTaper Universal rotary system during root canal therapy. *J Endod* 2011;37:758–763.
 28. Hülsmann M, Schinkel I. Influence of several factors on the success or failure of removal of fractured instruments from the root canal. *Endod Dent Traumatol* 1999;15:252–258.
 29. Shen Y, Coil JM, McLean AG, Hemerling DL, Haapasalo M. Defects in nickel-titanium instruments after clinical use. Part 5: single use from endodontic specialty practices. *J Endod* 2009;35:1363–1367.
 30. Plotino G, Grande NM, Cordaro M, Testarelli L, Gambarini G. A review of cyclic fatigue testing of nickel-titanium rotary instruments. *J Endod* 2009;35:1469–1476.

Fracture of an instrument with titanium nitride coating—analysis of an incident

KEY WORDS

Instrument fracture, removal of fractured instruments, scanning electron microscope (SEM), titan-nitritde nickel-titan

ABSTRACT

Nickel-titanium files are subject to continuous fatigue both during the manufacturing process and during clinical use, so fracture of a root canal instrument can occur during root canal preparation in individual cases. The specific conditions that led to the fracture can be estimated with the help of intracoronary findings and diagnostics. The scanning electron microscope can be helpful to identify reasons for fracture and to develop suggestions for minimizing fracture risk. In the present case, the cause of the root canal instrument fracture was not a manufacturing defect, such as incomplete coating of the titanium nitride, but a combination of torsional and flexural fatigue of the alloy. Anatomical conditions promoted the fatigue of the used file.



Michael Arnold
Dipl.-Stom.
Königstraße 9
01097 Dresden
E-Mail: fortbildung@
endodontie-arnold.de

Michael Arnold