

Michael Arnold

## Diagnostik der Vertikalfraktur



**INDIZES** Vertikalfraktur, Diagnostik, intrakoronale Befundaufnahme und Diagnostik, explorative Diagnostik, DVT

Die Fraktur des Wurzeldentins ist die Folge einer strukturellen Ermüdung des Kollagens nach Verlust der vitalen Pulpa und häufig einer Wurzelkanalbehandlung. Die Kenntnis der begünstigenden Faktoren kann dabei helfen, das Auftreten von Vertikalfrakturen zu verringern. Insbesondere der massive intrakanaläre Zahnhartsubstanzabtrag und apikale Überinstrumentationen scheinen das Auftreten von Vertikalfrakturen zu begünstigen. Die Diagnostik umfasst eine komplexe Beurteilung der klinischen Symptome und Befunde. Vor dem Beginn einer endodontischen Revisionsbehandlung ist das frühzeitige Erkennen einer Wurzeldentinfaktur für die Langzeitprognose des Zahnes und die Festlegung einer adäquaten Therapie entscheidend.

### Michael Arnold

Dipl. Stom.  
Praxis für Endodontie und  
Zahnerhaltung  
Königstraße 9  
01097 Dresden  
E-Mail: info@rootcanal.de

### ■ Einleitung

Das Ziel einer Wurzelkanalbehandlung ist es, eine mikrobielle Infektion des Wurzeldentins zu vermeiden oder zu eliminieren, um eine systemische Ausbreitung der Mikroorganismen zu verhindern<sup>1</sup>. Während bei einer primären endodontischen Therapie unter aseptischen Bedingungen mehr als 90 % der Zähne erfolgreich erhalten werden können<sup>2,3</sup>, gelingen aktuell auch komplizierte Revisionsbehandlungen mit guter Prognose<sup>4,5</sup>. Die Nutzung optischer Vergrößerungshilfen trägt unterstützend dazu bei, endodontische Problemstellungen erfolgreich zu managen<sup>6-8</sup>. Gleichzeitig kann durch minimalinvasive Eingriffe die Zahnhartsubstanz geschont werden, sodass eine mechanische Schwächung des Dentins reduziert werden kann<sup>9,10</sup>. Insbesondere ausgedehnte koronale Zahnhartsubstanzdefekte und eine extensive Wurzelkanalerweiterung können das Auftreten von Wurzeldentnrissen begünstigen<sup>11-15</sup>. Die postendodontische Restauration von mod-Kavitäten und die Anwendung einer lateralen Kompaktion von Gutta-

percha wurden ebenfalls als mögliche Ursachen für Vertikalfrakturen ermittelt<sup>11,16-18</sup>.

Es wird zunehmend darüber diskutiert, welche weiteren mechanischen und chemischen Faktoren im Verlauf der Wurzelkanalpräparation einen Einfluss auf die Entstehung von Dentinrissen haben. So scheinen die Art der Präparationsinstrumente und die apikale Überinstrumentierung Auswirkungen auf deren Ausbildung zu haben<sup>11,12,14,15,19</sup>. Für die mechanische Leistungsfähigkeit des Kollagens sind zusätzlich das Alter des Dentins und die Ausbildung sklerotischen Dentins von Bedeutung. Die Anwendung von Chelatoren und NaOCl in hohen Konzentrationen und in Abhängigkeit von der Einwirkungszeit scheint das Kollagen negativ zu beeinflussen, sodass eine Abnahme des Elastizitätsmoduls des Kollagens und eine erhöhte Frakturanfälligkeit nachgewiesen werden können<sup>20</sup>.

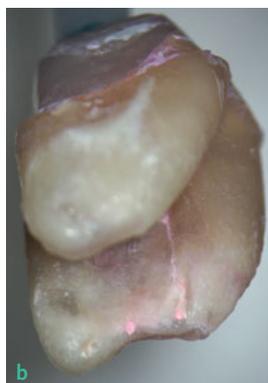
Dentinrisse können nach ihrem Entstehungsort unterschieden und eingeteilt werden. Als Crack werden Risse im Dentin bezeichnet, die sich von koronal in Richtung Wurzelspitze ausbreiten<sup>21,22</sup>.

### Manuskript

Eingang: 30.04.2017  
Annahme: 08.05.2017



**Abb. 1a und b** Zahn 16 nach Entfernung der Füllungsmaterialien mit einem Dentinriss bei vitaler Pulpa. Nach vertiefender Präparation zeigt sich das Ende des Cracks erst am Wurzelkanaleingang MB 2 (a). Als eine Abwehrleistung der Pulpa ist eine Reizdentinbildung mit partieller Dentinsklerose zu erkennen (b).



**Abb. 2a und b** Vertikalfaktur eines Unterkiefermolaren in der mesialen Wurzel nach Anfärbung von apikal bis zur Präparationsgrenze (a). Ausdehnung der VRF auf der Wurzelinnenseite bis zur Bifurkation (b) (Abbildung mit freundlicher Genehmigung von Dr. Holm Reuver, Neustadt/Weinstraße).

Häufig werden Infrakturen mesial und distal entlang der Randleiste aufgefunden, die sich im Dentin bis zur Pulpakammer erstrecken können (Abb. 1a und b). Bleiben die Risse über Jahre unentdeckt, reagiert die Pulpa mit einer Entzündungsreaktion auf das Eindringen von Mikroorganismen und der Ausbildung von reparativem Reizdentin<sup>22</sup>. Ein Erhalt der Pulpa und die Überkronung des Zahnes können in einigen Fällen das Fortschreiten von Cracks verhindern<sup>21</sup>. Bei einem raschen Fortschreiten wird die Pulpa mikrobiell infiziert mit der Folge einer partiellen oder vollständigen Pulpanekrose und periapikalen Parodontitis<sup>23</sup>.

Im Gegensatz zu Cracks werden Vertikalfrakturen (VRF) als solche Dentinrisse bezeichnet, die im apikalen oder mittleren Wurzel Drittel ihren Ursprung haben und sich nach koronal ausdehnen<sup>24</sup>. Häufig treten VRF in bukkoraler Richtung auf. Bei mehrwurzligen Zähnen finden sich VRF auch im

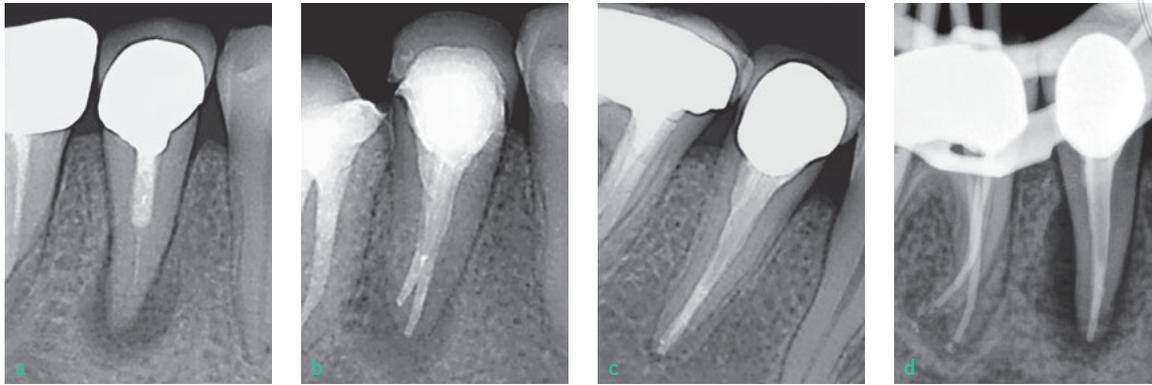
Furkationsbereich mit einer Ausdehnung auf der zur Furkation weisenden Wurzelseite (Abb. 2a und b).

Mit der Zunahme an endodontischen Behandlungen entsteht der Eindruck, dass die Prävalenz an Vertikalfrakturen ansteigt<sup>25</sup>. Die Inzidenz/Prävalenz einer vertikalen Wurzelfraktur (VRF) bei wurzelkanalbehandelten Zähnen variiert zwischen 4 und 20 % je nach Auswahl der Einschlusskriterien der Untersuchungen<sup>17,26,27</sup>. Wurden alle extrahierten Zähne auf das Vorhandensein einer VRF untersucht, so stieg die Prävalenz sogar auf 32 % der überprüften Fälle an<sup>28</sup>. In 94 % der Zähne mit VRF ließ sich eine Wurzelkanalfüllung nachweisen, sodass ein Zusammenhang zwischen einer Wurzelkanalbehandlung und dem Auftreten einer VRF vermutet werden kann. Die mesiale Wurzel von Unterkiefermolaren und die zweiten Oberkieferprämolaren sind am häufigsten von VRF betroffen<sup>29–31</sup>.

VRF werden zumeist etwa 4 bis 5 Jahre nach Abschluss der Wurzelkanalbehandlung diagnostiziert (Abb. 3 und 4). Das durchschnittliche Alter der Patienten mit einer VRF lag dabei zwischen 50 und 60 Jahren<sup>24,32,33</sup>.

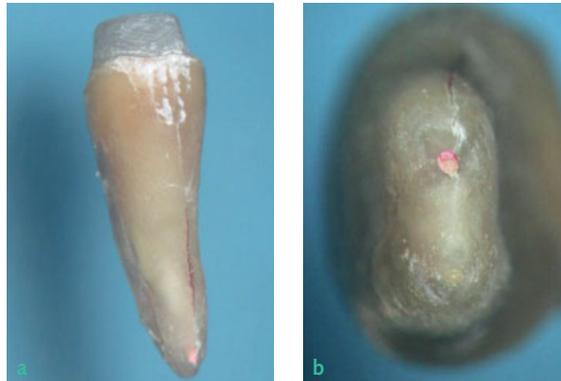
Als ein weiterer Einfluss auf die Ausbildung von Vertikalfrakturen wird die nachträgliche Insertion von Implantaten vermutet. Als Ursache wird die erhöhte biomechanische Belastung von Implantaten im Vergleich zu angrenzenden Zähnen mit einer Wurzelkanalbehandlung diskutiert<sup>34</sup>.

Die große zeitliche Verzögerung zwischen dem Ereigniseintritt der Dentinfraktur und dem klinischen pathologischen Befund ermöglicht weder



**Abb. 3a bis d** Röntgenausgangsaufnahme von Zahn 45 mit periapikaler Aufhellung bei unvollständiger Wurzelkanalfüllung (a). Nach Abschluss der Revisionsbehandlung konnten beide Wurzelkanäle vollständig präpariert und thermoplastisch gefüllt werden (b). Drei Jahre nach Abschluss der Wurzelkanalbehandlung und neuer Kronenversorgung ist ein gleichmäßig verfolgbarer Desmodontalspalt zu erkennen (c). Fünf Jahre nach der Revisionsbehandlung wird erneut eine periapikale Aufhellung diagnostiziert (d).

eine sichere Beurteilung der Inzidenz von Dentinrissen an wurzelkanalbehandelten Zähnen noch eine prognostische Beurteilung. Da mit dem klinischen Auftreten einer VRF ein Erhalt des betroffenen Zahnes nicht mehr Erfolg versprechend ist, können hohe Kosten für die zahnerhaltende und nachfolgend zahnsetzende Therapie entstehen. Das frühzeitige Erkennen symptomloser intrakanalärer Dentinrisse könnte dabei helfen, das Misserfolgsrisiko einer kostenintensiven und prognostisch unsicheren zahnerhaltenden Therapie zu verringern.



**Abb. 4a und b** Extrahierter Zahn 45 mit lingualer Vertikalfraktur. Der Dentinriss erreichte noch nicht den Sulkus und konnte nicht sondiert werden (a). Der Frakturspalt führt bis zum Foramen apicale. Auffällig ist die Erweiterung als mögliche Folge einer Überinstrumentation (b).

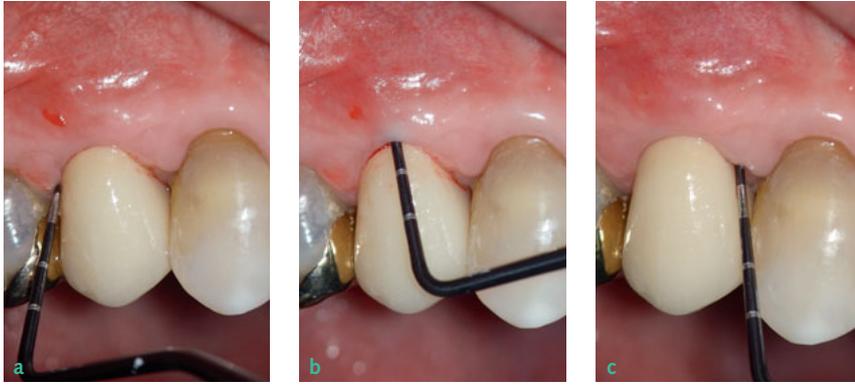
## ■ Klinische Befundaufnahme und Diagnostik

Die Diagnostik einer Vertikalfraktur stellt für den Zahnarzt eine große Herausforderung dar<sup>35</sup>. Meist handelt es sich um Zähne mit einer bereits längere Zeit zurückliegenden Wurzelkanalbehandlung, die entweder symptomatisch oder asymptomatisch verlaufen ist und radiologisch eine persistierende oder auch eine neue periapikale Aufhellung aufweisen können. Im Verlauf der klinischen Befundaufnahme können deshalb typische Symptome für eine apikale aber auch für eine marginale Parodontitis auftreten. Eine Schmerzreaktion auf Palpation der bukkalen wurzelnahen Kompakta oder auf einen axialen Perkussionsreiz können auftreten, sind jedoch nicht in jedem Fall mit einer VRF assoziiert<sup>36</sup>.

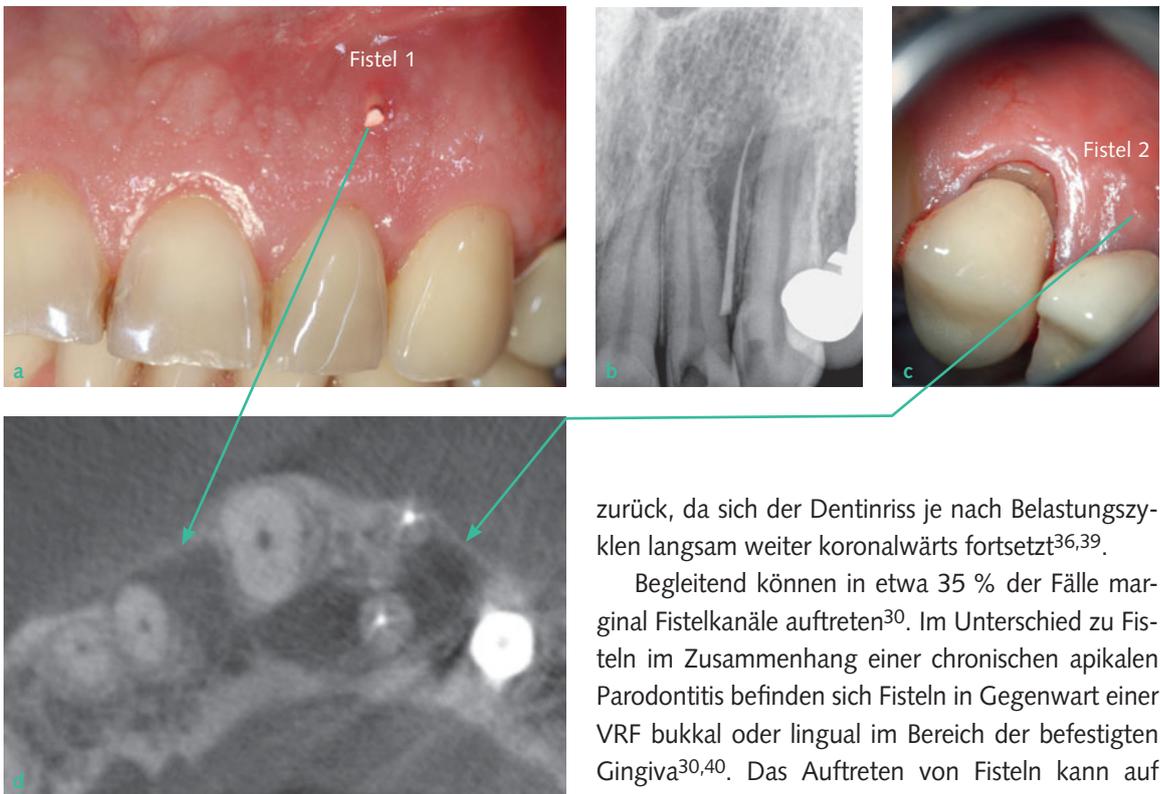
Ein klinischer Hinweis auf eine VRF kann sich im Verlauf des intrasulkulären Sondierens ergeben.

Wird mit einer Parodontalsonde (beispielsweise WHO-Sonde) der gingivale Sulkus mit leichtem Druck ausgetastet („walking strokes“) und ist ein eng begrenzter tiefer Einbruch auf der Wurzeloberfläche zu messen, so kann das ein Hinweis auf einen mikrobiell infizierten Dentinriss sein (Abb. 5a bis c). Flexible Messsonden scheinen dabei besser geeignet zu sein als starre Instrumente, um auf der konvexen Wurzeloberfläche unterhalb von Kronenrändern Taschentiefen fehlerfrei auszumessen<sup>37</sup>.

Differenzialdiagnostisch sind diese vertikal messbaren Einbrüche abzugrenzen von endodontisch bedingten Fisteln unter einer eng begrenzten Auflösung des Desmodonts, der sogenannten Endo-Paroläsion<sup>38</sup>. Ein sondierbarer Knocheneinbruch im Fall einer VRF tritt nur in etwa 70 % der Fälle auf<sup>30</sup>. Das negative Ergebnis des Sondierens schließt damit das



**Abb. 5a bis c.** Das Austasten des gingivalen Sulkus mit einer PA-Sonde ermöglicht es, den auf den Dentinriss begrenzten vertikalen Knocheneinbruch zu ermitteln. Während die Messwerte mesial und distal am Zahn 15 keine pathologischen Hinweise geben, fällt ein atypischer Einbruch von 6 mm auf der bukkalen Wurzeloberfläche auf.



**Abb. 6a bis d.** Nach wiederholter medikamentöser Einlage am Zahn 22 kam es zum Rezidiv einer Fistel (a). Die Darstellung des Fistelkanals konnte keinen Zusammenhang zwischen Zahn 22 und dem Fistelkanal belegen (b). Die mikrobiell infizierte VRF am Zahn 24 unterhielt eine zahnahe Fistel 1 und ausgehend von der palatinalen Wurzel eine weitere Fistel, die sich atypisch zwischen Zahn 22 und 23 entleerte (c). Auf der axialen Rekonstruktion ist die palatinale Aufhellung mit der horizontalen Ausdehnung in Richtung Zahn 22 zu erkennen. Die Pfeile markieren die klinischen Fistelkanalausgänge (d).

Vorhandensein einer VRF nicht aus. Mehrere Faktoren sind für den sondierbaren vertikalen Einbruch maßgeblich. Der Dentinriss muss über den Sulcus gingivalis Kontakt zum Mundhöhlenmilieu bekommen, damit im Fall eines desinfizierten Wurzelkanalsystems eine mikrobielle Reinfektion stattfinden kann. Ein von Alveolarknochen begrenzter Dentinriss allein führt nicht zu einem Verlust an Attachment. Erst der mikrobielle Befall der Nische im Dentin verursacht eine entzündliche Abwehrreaktion mit lokalisiert begrenztem Knochenabbau und damit einem sondierbaren Knocheneinbruch. Der Schadenseintritt der beginnenden VRF liegt deshalb häufig Jahre

zurück, da sich der Dentinriss je nach Belastungszyklen langsam weiter koronalwärts fortsetzt<sup>36,39</sup>.

Begleitend können in etwa 35 % der Fälle marginal Fistelkanäle auftreten<sup>30</sup>. Im Unterschied zu Fisteln im Zusammenhang einer chronischen apikalen Parodontitis befinden sich Fisteln in Gegenwart einer VRF bukkal oder lingual im Bereich der befestigten Gingiva<sup>30,40</sup>. Das Auftreten von Fisteln kann auf wechselnde progressive Phasen der Entzündung zurückzuführen sein<sup>38</sup>. Nach einer suffizienten antimikrobiellen Therapie kann sich die Fistel zeitweilig verschließen. Nach einer kurzen Zeitspanne von etwa 2 bis 3 Monaten kommt es jedoch im Verlauf der Rekontamination zu einem Rezidiv (Abb. 6a bis d). Ein gleichzeitiges Auftreten von Fistel und messbarer Knochentasche ist seltener. Dagegen können bei VRF auch mehrere Fisteln gleichzeitig ohne sondierbaren knöchernen Einbruch auftreten (Abb. 7a und b).

Liegt eine sondierbare enge Zahnfleischtasche vor, so wird zur Differenzialdiagnostik die Retraktion der Gingiva mit einem Heidemann-Spatel und Anfärbung der getrockneten Wurzeloberfläche mit Methylenblau empfohlen. Der in einen Frakturspalt penetrierende Farbstoff kann das Erkennen eines

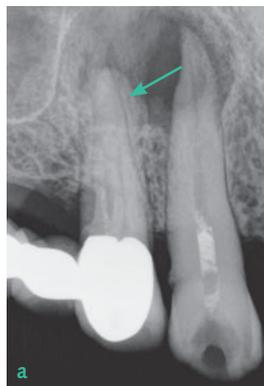
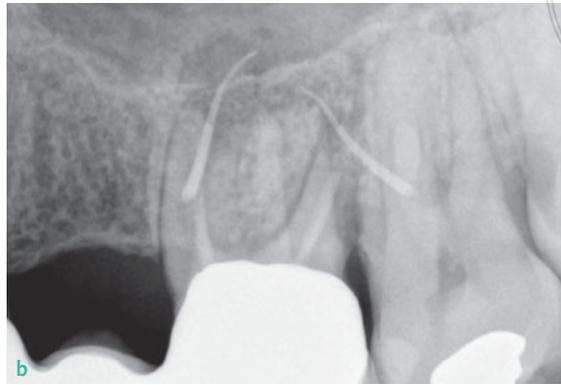


**Abb. 8** Auf der intraoralen Röntgenaufnahme kann am Zahn 47 nach Dislokation der Fragmente die VRF zweifelsfrei diagnostiziert werden.

Dentinrisses erleichtern<sup>36,41</sup>. Dieses diagnostische Verfahren ist jedoch nur auf Fälle mit einem suprakrestalen und vestibulär gelegenen Dentinriss begrenzt. Liegt ein Dentinriss mehr in mesialer oder distaler Richtung oder weist in Richtung Furkation, sind die klinischen Möglichkeiten zur Differenzierung schwieriger, weil sich die Risse nicht mehr im sichtbaren Bereich befinden.

## ■ Radiologische Diagnostik

Zur weitergehenden Befundaufnahme und Entscheidungsfindung wird die radiologische Diagnostik genutzt. Intraorale Röntgenaufnahmen scheinen jedoch wenig geeignet zu sein, Dentinrisse zu diagnostizieren<sup>30,42</sup>. Sie verlaufen nicht exakt geradlinig, sodass sie im Strahlengang immer durch überlagerte Anteile des Dentins verdeckt werden. Die Spaltbreite ist zu Beginn der Ausbildung einer VRF noch zu gering, um sicher auf intraoralen zweidimensionalen Röntgenaufnahmen von anderen dentalen Struk-



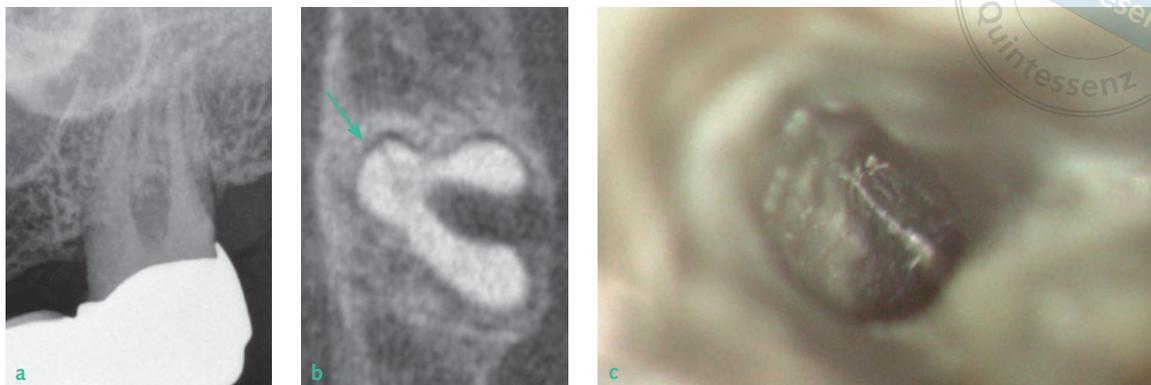
**Abb. 7a und b** Am Zahn 26 sind nach Wurzelkanalbehandlung und Wurzelspitzenresektion palätinal zwei Fistelkanäle nachzuweisen. Mit Guttaperchastiften als Kontrastmittel wird die Kommunikation zur periapikalen Aufhellung kontrolliert (a) und mit der intraoralen Röntgenaufnahme nachgewiesen. Die Bestätigung einer VRF liegt jedoch nicht vor (b).

**Abb. 9a und b** Die leicht mesialexzentrische Projektion am Zahn 14 führt zur Überlagerung des mesialen Desmodontalspalts der bukkalen Wurzel und lässt eine Fraktur vermuten.

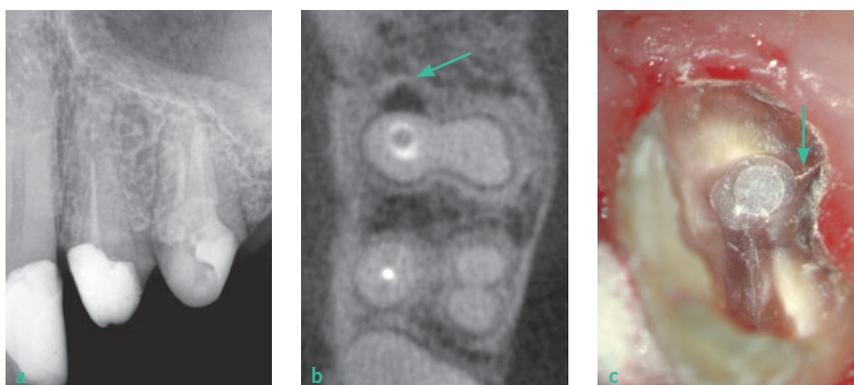
**Abb. 10a und b** Der mit einem massiven Stiftaufbau versorgte Zahn 25 und mit einer Fistel assoziierten apikalen Parodontitis lässt in der mesial exzentrischen Projektion einen Spalt in Richtung Stift erkennen (Pfeil). Tatsächlich liegt eine Überlagerung des Desmodontalspalts vor.

turen unterschieden werden zu können (Abb. 7b). Auch zusätzliche Füllungsmaterialien oder Medikamente mit Röntgenkontrastmitteln schließen eine Differenzialdiagnostik der VRF aus<sup>43</sup>. Erst wenn sich der Frakturspalt infolge der Dislokation der betroffenen Wurzelanteile erweitert, ist auch eine Einzelaufnahme in der Lage, eine VRF sicher abzubilden (Abb. 8).

Fehlinterpretationen können auftreten, wenn sich ein Desmodontalspalt parallel zum Wurzelkanal abbildet oder unvermutete anatomische Verhältnisse an zusätzlichen Wurzelkanälen in vertikaler Richtung auf der Wurzel dargestellt werden (Abb. 9 und 10).



**Abb. 11a bis c** Auf der Röntgenausgangsaufnahme sind bei stark verengten Wurzelkanälen eine diffuse periapikale Aufhellung und ein horizontaler Knochenabbau mit Freilegung der Trifurkation am Zahn 27 zu erkennen. Ein Erhalt des Zahnes scheint möglich zu sein (a). In der axialen Rekonstruktion der DVT-Aufnahme ist eine seltene Fusion der drei Wurzeln zu erkennen mit einem Dentinriss in der palatinalen Wurzel (b). Der Dentinriss wird durch die IKD bestätigt, sodass die Verdachtsdiagnose VRF gesichert ist und ein Erhaltungsversuch rechtzeitig abgebrochen wurde (c).



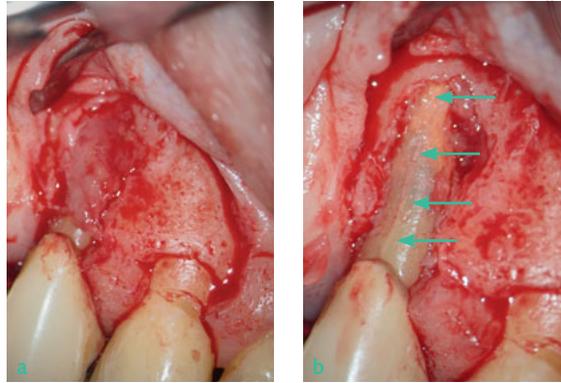
**Abb. 12a bis c** Für die Zähne 24 und 25 ist vor der prothetischen Neuversorgung eine endodontische Revision erforderlich. Auf der intraoralen Röntgenaufnahme und nach klinischer Befundaufnahme lassen sich keine Auffälligkeiten für eine VRF ermitteln (a). In der axialen Projektion der DVT-Aufnahme fällt am Zahn 25 an der palatinalen Wurzel eine eng begrenzte Aufhellung auf (b). Der Verdacht der VRF konnte im Verlauf der IKD bestätigt werden (c).

Als eine mögliche Alternative für eine verbesserte Differenzialdiagnostik wurde die Anwendung der Subtraktionsradiovisographie vorgeschlagen<sup>44</sup>. Eine weitergehende radiologische Diagnostik der VRF ermöglicht die Anwendung der digitalen dentalen Volumentomographie (DVT)<sup>45,46</sup> (Abb. 11 und 12). Sowohl die Sensitivität als auch die Spezifität sind gegenüber intraoralen Röntgenaufnahmen verbessert<sup>47–49</sup>. Faktoren, die auf die Qualität der Röntgenaufnahmen mit der DVT Einfluss nehmen, sind der Gerätetyp, die Leistungsparameter, die Positionierung des Patienten und die digitale Nachbearbeitung der dreidimensionalen Rekonstruktion<sup>50–53</sup>. Der Vorteil der DVT im Vergleich zur zweidimensionalen Röntgenaufnahme besteht in der dreidimensionalen Beurteilung knöcherner Defekte, sodass vor allem bei graziilen und mikrobiell infizierten Dentinrissen indirekt aus der Lage und Ausdehnung der Defekte auf eine VRF geschlossen werden kann<sup>54,55</sup> (Abb. 12a bis c).

Die Erfahrung und der Kenntnisstand beim Ausschluss radiologischer Artefakte sind entscheidend für eine exakte Diagnostik und Vermeidung von Fehldiagnosen. So können Auslöschungsartefakte an der Grenze zu Wurzelfüllungsmaterial den Eindruck einer VRF erwecken<sup>56,57</sup>. Die in der Software verschiedener Hersteller angebotene Funktion zur Artefaktverringerung scheint hingegen die Genauigkeit der Diagnostik einer VRF zu verschlechtern<sup>58</sup>.

Weitere bildgebende Verfahren werden diskutiert, um die Exposition des Patienten mit Röntgenstrahlen zu minimieren. Mit der Magnetresonanztomographie (MRT) besteht in vitro die Möglichkeit der dreidimensionalen Darstellung des Wurzelkanalsystems<sup>59</sup>. Gleichzeitig können Weichgewebe differenziert werden, sodass Entzündungsgewebe von biologisch gesundem Gewebe unterschieden werden kann<sup>60</sup>. Die aktuelle Auflösung von 250 bis 100 µm ermöglicht in vitro bereits die Darstellung von Cracks und VRF<sup>61,62</sup>. Die klinische zahnbezo-

**Abb. 13a und b** Zur Freilegung der Wurzeloberfläche am Zahn 14 erfolgt die etwa 1,5 cm lange vertikale Entlastung mesial von Zahn 13 bei einem Papillenbasisschnitt zwischen Region 13 und 14. Nach stumpfer Präparation des Mukoperiostlappens ist der knöcherne Defekt vollständig freigelegt (a). Nach Entfernung des Granulationsgewebes ist bei 8-facher Vergrößerung ein vertikal verlaufender Wurzelriss zu sehen (b).



gene Anwendung ist jedoch noch immer nicht möglich, da insbesondere die Größe der Geräte und die Dauer der Aufnahmezeit eine Aufzeichnung am Patienten intraoral noch nicht möglich machen.

Mithilfe der Ultraschalltechnik können auch Veränderungen in der Durchblutung im Weichgewebe differenziert werden. Insofern wurde die Ultraschalltechnik bei Hautfisteln bereits erfolgreich zur Ermittlung einer dentalen Ursache eingesetzt<sup>63</sup>. Während die Ultraschalltechnik in der Frakturdiagnostik von Knochen bei Kindern und Erwachsenen zur Minimierung der Strahlenexposition angewendet wird<sup>64</sup>, ist eine Frakturdiagnostik am Zahn aktuell noch nicht dokumentiert.

## ■ Explorative Diagnostik

Bei klinischen oder röntgenografischen Hinweisen auf eine VRF wird zur Abklärung der Diagnose die chirurgische Freilegung der exponierten Wurzel empfohlen<sup>36</sup>. Dazu erfolgt unter lokaler Anästhesie die Präparation eines Mukoperiostlappens. Bei der Schnittführung ist darauf zu achten, dass der Wundverschluss mit der Naht eine knöcherne Basis hat, damit Wundheilungsstörungen vermieden werden können. Das der Wurzel auflagernde Weichgewebe muss entfernt werden, damit die freiliegende Wurzeloberfläche zweifelsfrei beurteilt werden kann (Abb. 13a und b). Dentinrisse in vestibulärer Lage lassen sich mit oder ohne Anfärbung darstellen. Dentinrisse, die im Bereich einer Furkation oder approximal mesial beziehungsweise distal vermutet werden, lassen sich nur unter erhöhtem chirurgischen Aufwand nach Osteotomie erkennen. Risse, die noch von Alveolarkno-

chen bedeckt sind, können mit dieser Methode nicht identifiziert werden (siehe Abb. 11b).

## ■ Intrakoronale Befundaufnahme und Diagnostik (IKD)

Unter Sicht mit der Lupenbrille und dem Mikroskop gelingt es, Dentinrisse ohne Anfärbung zu erkennen<sup>41,65</sup>. Das koaxial zur optischen Achse ausgerichtete Licht wird an Dentinrissen gebrochen, sodass der Riss als Unterbrechung der normalen Dentinstruktur zu erkennen ist. Die zusätzliche Einlagerung von Dentinspänen im Verlauf der trockenen Präparation des Dentins mit Rosenbohrern in der Größe ISO 008-005 markiert kleinste Risse, sodass die Lage und Ausdehnung ermittelt werden können<sup>21,66,67</sup> (Abb. 14a bis c, siehe auch Abb. 1b, 11c, 12c). Die zusätzliche Anwendung von LED-Licht von lateral soll den Erfolg in der Erkennung von Dentinrissen erhöhen<sup>68</sup>.

Bei der Vielzahl an diagnostischen Hilfsmitteln und Verfahren sowie den jeweiligen Limitationen ist häufig ein hoher zeitlicher und technischer Umfang bis zur sicheren Diagnose erforderlich. Die modifizierte diagnostische Abfolge nach Kielbassa lässt den Umfang an differenzialdiagnostischen Verfahrensschritten erkennen<sup>35</sup>:

1. Identifikation der anfälligen Zähne für vertikale Wurzelfrakturen.
2. Erstellen einer Gesamtanamnese für den betreffenden Zahn.
3. Klinische Schmerzanamnese und Untersuchung des vorbestehenden Unwohlseins.



**Abb. 14a bis c** Für die intrakoronale Befundaufnahme und Diagnostik ist die vollständige Freilegung der Wurzelkanal-eingänge von Dentinüberhängen erforderlich (a). Nach einer vertiefenden minimalinvasiven Präparation und Entfernung der Sekundärdentinüberhänge wird mesiolingual (b) und mesiobukkal ein ausgeprägter Dentinriss sichtbar, sodass die Diagnose VRF gesichert werden kann (c).

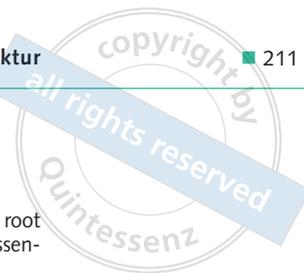
4. Sondieren zur Feststellung eventuell vorhandener Knochendefekte an der betroffenen Wurzel, vor allem bukkal.
5. Erstellen einer periapikalen Röntgenaufnahme zur Darstellung des Frakturspalts oder einer typischen Aufhellung.
6. Erstellen einer DVT-Aufnahme zur Darstellung des Frakturspalts oder einer typischen Aufhellung (halo-förmig oder lokal begrenzt in der vertikalen Dimension).
7. IKD oder chirurgische Exploration der Wurzel.

Erst unter Einbeziehung aller Befunde erhöht sich die diagnostische Sicherheit, um die Verdachtsdiagnose der VRF gegen die Differenzialdiagnose Endo-Paroläsion abzugrenzen und zu sichern. Fehldiagnosen können unter Einhaltung einer systematischen Be-

fundaufnahme verringert werden (Tab. 1). Erst mit der gesicherten Diagnose wird eine kausale, adäquate Therapie möglich.

**Tab. 1** Systematische Befundaufnahme.





## Literatur

1. Wu MK, Dummer PM, Wesselink PR. Consequences of and strategies to deal with residual post-treatment root canal infection. *Int Endod J* 2006;39:343–356.
2. Burry JC, Stover S, Eichmiller F, Bhagavatula P. Outcomes of primary endodontic therapy provided by endodontic specialists compared with other providers. *J Endod* 2016;42:702–705.
3. Lazarski MP, Walker WA 3rd, Flores CM, Schindler WG, Hargreaves KM. Epidemiological evaluation of the outcomes of nonsurgical root canal treatment in a large cohort of insured dental patients. *J Endod* 2001;27:791–796.
4. Imura N, Pinheiro ET, Gomes BP, Zaia AA, Ferraz CC, Souza-Filho FJ. The outcome of endodontic treatment: a retrospective study of 2000 cases performed by a specialist. *J Endod* 2007;33:1278–1282.
5. Ng YL, Mann V, Gulabivala K. Outcome of secondary root canal treatment: a systematic review of the literature. *Int Endod J* 2008;41:1026–1046.
6. Arnold M. Das Dentalmikroskop – Grundlage für bewährte und neue Verfahren bei der Wurzelkanalbehandlung. *Endodontie* 2007;16:105–114.
7. AAE Position Statement. Use of microscopes and other magnification techniques. *J Endod* 2012;38:1153–1155.
8. Eichhorn M, Hülsmann M. Das Dentalmikroskop in der Endodontie. *Endodontie* 2016;25:269–284.
9. Beer R, Mayerhöfer G. Fortschritte in der Endodontie – Die operationsmikroskopgestützte Wurzelkanalbehandlung. *Quintessenz* 1995;46:1437–1450.
10. Velvart P. Das Operationsmikroskop. Neue Dimensionen in der Endodontie. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 1996;106:356–367.
11. Shemesh H, Bier CA, Wu MK, Tanomaru-Filho M, Wesselink PR. The effects of canal preparation and filling on the incidence of dentinal defects. *Int Endod J* 2009;42:208–213.
12. Kim HC, Lee MH, Yum J, Versluis A, Lee CJ, Kim BM. Potential relationship between design of nickel-titanium rotary instruments and vertical root fracture. *J Endod* 2010;36:1195–1199.
13. Romeed SA, Dunne SM, Madarati AA. The impact of fractured endodontic file removal on vertical root fracture resistance: three-dimensional finite element analysis. *Eur J Prosthodont Restor Dent* 2012;20:86–91.
14. Bürklein S, Tsotsis P, Schäfer E. Incidence of dentinal defects after root canal preparation: reciprocating versus rotary instrumentation. *J Endod* 2013;39:501–504.
15. Liu R, Kaiwar A, Shemesh H, Wesselink PR, Hou B, Wu MK. Incidence of apical root cracks and apical dentinal detachments after canal preparation with hand and rotary files at different instrumentation lengths. *J Endod* 2013;39:129–132.
16. Meister F Jr, Lommel TJ, Gerstein H. Diagnosis and possible causes of vertical root fractures. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1980;49:243–253.
17. Morfis AS. Vertical root fractures. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1990;69:631–635.
18. Barreto MS, Moraes Rdo A, Rosa RA, Moreira CH, Só MV, Bier CA. Vertical root fractures and dentin defects: effects of root canal preparation, filling, and mechanical cycling. *J Endod* 2012;38:1135–1139.
19. Bier CA, Shemesh H, Tanomaru-Filho M, Wesselink PR, Wu MK. The ability of different nickel-titanium rotary instruments to induce dentinal damage during canal preparation. *J Endod* 2009;35:236–238.
20. Marending M, Zehnder M. Beeinflussung der mechanischen Dentineigenschaften durch chemische Wurzelkanalauflösung. *Endodontie* 2007;16:333–346.
21. Mamoun JS, Napoletano D. Cracked tooth diagnosis and treatment: An alternative paradigm. *Eur J Dent* 2015;9:293–303.
22. Ricucci D, Siqueira JF Jr, Loghin S, Berman LH. The cracked tooth: histopathologic and histobacteriologic aspects. *J Endod* 2015;41:343–352.
23. Ricucci D, Siqueira JF Jr. Biofilms and apical periodontitis: study of prevalence and association with clinical and histopathologic findings. *J Endod* 2010;36:1277–1288.
24. Schwarz S, Lohbauer U, Petschelt A, Pelka M. Vertical root fractures in crowned teeth: a report of 32 cases. *Quintessenz Int* 2012;43:37–43.
25. Löst C. Die vertikale Wurzelfraktur – eine klinische Herausforderung und ein pathogenetisches Phänomen. *Zahnmedizin up2date* 2015;9:109–127.
26. Vire DE. Failure of endodontically treated teeth: classification and evaluation. *J Endod* 1991;17:338–342.
27. Coppens CRM, DeMoor RJG. Prevalence of vertical root fractures in extracted endodontically treated teeth. *Int Endod J* 2003;36:926.
28. Yoshino K, Ito K, Kuroda M, Sugihara N. Prevalence of vertical root fracture as the reason for tooth extraction in dental clinics. *Clin Oral Investig* 2015;19:1405–1409.
29. Tamse A. Ätiologie, Diagnose und Behandlung vertikaler Wurzelfrakturen bei endodontisch behandelten Zähnen. *Endodontie* 1994;3:175–184.
30. Tamse A, Fuss Z, Lustig J, Kaplavi J. An evaluation of endodontically treated vertically fractured teeth. *J Endod* 1999;25:506–508.
31. Cohen S, Berman LH, Blanco L, Bakland L, Kim JS. A demographic analysis of vertical root fractures. *J Endod* 2006;32:1160–1163.
32. PradeepKumar AR, Shemesh H, Jothilatha S, Vijayabharathi R, Jayalakshmi S, Kishan A. Diagnosis of vertical root fractures in restored endodontically treated teeth: A time-dependent retrospective cohort study. *J Endod* 2016 20. pii: S0099-2399(16)30191-1. doi: 10.1016/j.joen.2016.04.012.
33. Chan CP, Lin CP, Tseng SC, Jeng JH. Vertical root fracture in endodontically versus nonendodontically treated teeth: a survey of 315 cases in Chinese patients. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1999;87:504–507.
34. Rosen E, Beitlitum I, Tamse A, Taschieri S, Tsesis I. Implant-associated vertical root fracture in adjacent endodontically treated teeth: A case series and systematic review. *J Endod* 2016;42:948–952.
35. Kielbassa AM, Helwig E, Attin T. Differentialdiagnostische Probleme im Zusammenhang mit einer Fistelbildung nach Kronen-Wurzel-Fraktur eines wurzelkanalbehandelten Seitenzahnes. *Endodontie* 1995;2:107–119.
36. Haueisen H, Gärtner K, Kaiser L, Trohorsch D, Heidemann D. Vertical root fracture: prevalence, etiology, and diagnosis. *Quintessenz Int* 2013;44:467–474.
37. Bergenholtz A, al-Harbi N, al-Hummayani FM, Anton P, al-Kahtani S. The accuracy of the Vivacare true pressure-sensitive periodontal probe system in terms of probing force. *J Clin Periodontol* 2000;27:93–98.
38. Koçkan C. Odotogene Fisteln – Eine Literaturübersicht. *Endodontie* 2008;17:59–75.
39. Reuver H. Vertikale Wurzelfrakturen nach Anwendung der lateralen Kondensationstechnik. *Endodontie* 2006;5:207–218.
40. Chan CP, Chang SH, Huang CC, Wu SK, Huang SK. Cutaneous sinus tract caused by vertical root fracture. *J Endod* 1997;23:593–595.
41. Arnold M. Visualisierung. In: Hülsmann M, Schäfer E. Probleme in der Endodontie. Berlin: Quintessenz Verlag, 2007.
42. Testori T, Badino M, Castagnola M. Vertical root fractures in endodontically treated teeth: a clinical survey of 36 cases. *J Endod* 1993;19:87–91.
43. Junqueira RB, Verner FS, Campos CN, Devito KL, do Carmo AM. Detection of vertical root fractures in the presence of intracanal metallic post: a comparison between periapical radiography and cone-beam computed tomography. *J Endod* 2013;39:1620–1624.
44. Queiroz PM, Nascimento HA, da Paz TD, Anacleto FN, Freitas DQ. Accuracy of digital subtraction radiography in the detection of vertical root fractures. *J Endod* 2016;42:896–899.
45. Hannig C, Dullin C, Hülsmann M, Heidrich G. Three-dimensional, non-destructive visualization of vertical root fractures using flat panel volume detector computer tomography: an ex vivo in vitro case report. *Int Endod J* 2005;38:904–913.

46. Semper M. Dentale Digitale Volumetomographie. Neue S2k-Leitlinie. Endodontie 2013;22:345–353.
47. Bramante CM. Use of cone-beam volumetric tomography in the diagnosis of root fractures. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2009;108:270–277.
48. Edlund M, Nair MK, Nair UP. Detection of vertical root fractures by using cone-beam computed tomography: a clinical study. J Endod 2011;37:768–772.
49. Hassan B, Metska ME, Ozok AR, van der Stelt P, Wesselink PR. Detection of vertical root fractures in endodontically treated teeth by a cone beam computed tomography scan. J Endod 2009;35:719–722.
50. Kamburoğlu K, Murat S, Yüksel SP, Cebeci AR, Horasan S. Detection of vertical root fracture using cone-beam computerized tomography: an in vitro assessment. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2010;109:e74–81.
51. Özer SY, Ünlü G, Değer Y. Diagnosis and treatment of endodontically treated teeth with vertical root fracture: three case reports with two-year follow-up. J Endod 2011;37:97–102.
52. Jakobson SJ, Westphalen VP, Silva Neto UX, Fariniuk LF, Schroeder AG, Carneiro E. The influence of metallic posts in the detection of vertical root fractures using different imaging examinations. Dentomaxillofac Radiol 2014;43:20130287. doi: 10.1259/dmfr.20130287. Epub 2013 Nov 4.
53. Elsaltani MH, Farid MM, Eldin Ashmawy MS. Detection of simulated vertical root fractures: Which cone-beam computed tomographic system is the most accurate? J Endod 2016;42:972–977.
54. Bürklein S. DVT in der Endodontie. Endodontie 2011;20:381–388.
55. Arnold M. Anwendung der dentalen digitalen Volumetomographie in der Endodontie. Quintessenz 2013;64:85–96.
56. Brito-Júnior M, Santos LA, Faria-e-Silva AL, Pereira RD, Sousa-Neto MD. Ex vivo evaluation of artifacts mimicking fracture lines on cone-beam computed tomography produced by different root canal sealers. Int Endod J 2014;47:26–31.
57. Tikubo M, Osano T, Sano T, et al. Root canal filling materials spread pattern mimicking root fractures in dental CBCT images. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol 2015;120:521–527.
58. Bechara B, Alex McMahan C, Moore WS, Noujeim M, Teixeira FB, Geha H. Cone beam CT scans with and without artefact reduction in root fracture detection of endodontically treated teeth. Dentomaxillofac Radiol 2013;42:20120245. doi: 10.1259/dmfr.20120245. Epub 2013 Mar 21.
59. Baumann M. Die räumliche Darstellung des Endodonts. München: Hanser, 1995.
60. Gaudino C, Cosgarea R, Heiland S, et al. MR-Imaging of teeth and periodontal apparatus: an experimental study comparing high-resolution MRI with MDCT and CBCT. Eur Radiol 2011;21:2575–2583.
61. Idiyattullin D, Corum C, Moeller S, Prasad HS, Garwood M, Nixdorf DR. Dental magnetic resonance imaging: making the invisible visible. J Endod 2011;37:745–752.
62. Ludwig U, Eisenbeiss AK, Scheifele C, et al. Dental MRI using wireless intraoral coils. Sci Rep 2016 29;6:23301. doi: 10.1038/srep23301.
63. Shobatake C, Miyagawa F, Fukumoto T, Hirai T, Kobayashi N, Asada H. Usefulness of ultrasonography for rapidly diagnosing cutaneous sinus tracts of dental origin. Eur J Dermatol 2014;24:683–687.
64. Eckert K, Ackermann O. Sonographische Frakturdiagnostik. Radiologie 2015;55:992–994,996–999.
65. Slaton CC, Loushine RJ, Weller RN, Parker MH, Kimbrough WF, Pashley DH. Identification of resected root-end dentinal cracks: a comparative study of visual magnification. J Endod 2003;29:519–522.
66. Clark DJ, Sheets CG, Paquette JM. Definitive diagnosis of early enamel and dentin cracks based on microscopic evaluation. J Esthet Restor Dent 2003;15:391–401.
67. Arnold M, Friedrichs C, Tulus G, Verch S, Denhardt H, Sanner F. Intrakoronale und intrakanaläre Diagnostik (IKD). Endodontie 2013;22:9–21.
68. Coelho MS, Card SJ, Tawil PZ. Visualization enhancement of dentinal defects by using light-emitting diode transillumination. J Endod 2016;42:1110–1113.

## Diagnosis of vertical root fractures

**KEYWORDS** *Vertical root fractures, diagnostics, intracoronary diagnostics, explorative diagnostics, CBCT*

The fracture of root dentin is a result of structural weakening of collagen following loss of the vital pulp dentin and root canal treatment. Knowledge of contributing factors can help to avoid vertical root fractures (VRFs). Massive intracanal loss of tooth substance and apical overinstrumentation seem to increase the incidence of VRF. Diagnostics in such cases comprises a complex process of investigation of clinical symptoms and findings. Before starting endodontic retreatment, timely diagnosis of a VRF is necessary for the long-term prognosis and the choice of an adequate treatment.