

Die digitale Volumentomographie in der Endodontologie

Eine Übersicht für den Praxisalltag

Schlüsselwörter: digitale Volumentomographie, Wurzelkanalbehandlung, Endodontologie

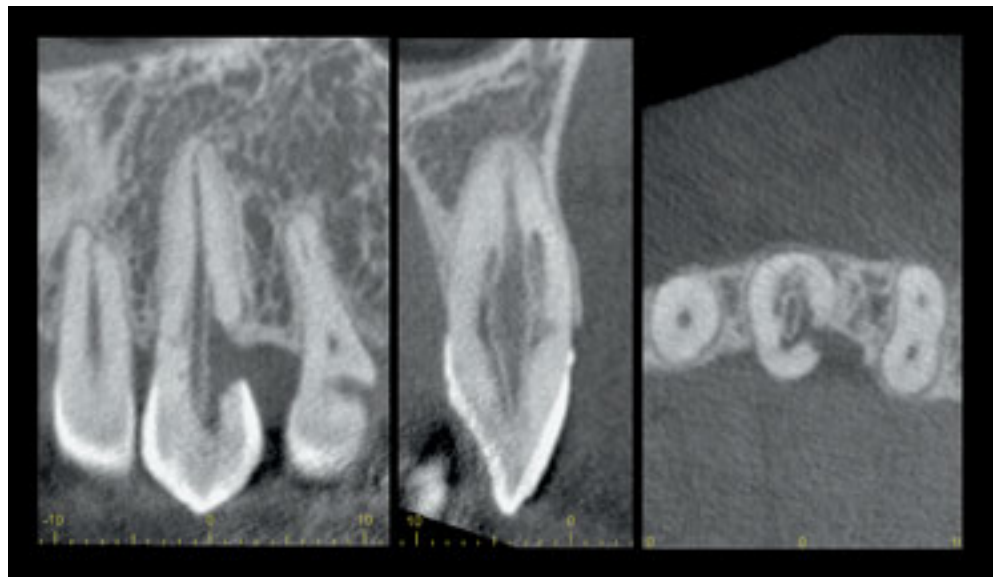
FRANZISKA B. JEGER¹
ADRIAN LUSSI¹
MICHAEL M. BORNSTEIN^{2,3}
REINHILDE JACOBS³
SIMONE F. M. JANNER^{2,4}

¹ Klinik für Zahnerhaltung, Präventiv- und Kinderzahnmedizin, Zahnmedizinische Kliniken der Universität Bern

² Klinik für Oralchirurgie und Stomatologie, Zahnmedizinische Kliniken der Universität Bern

³ Oral Imaging Center, Faculty of Medicine, Katholieke Universiteit, Leuven, Belgien

⁴ Department of Periodontics, University of Texas Health Science Center at San Antonio, Texas, USA



Korrespondenzadresse

Dr. Franziska Jeger
Klinik für Zahnerhaltung,
Präventiv- und Kinderzahnmedizin
Freiburgstrasse 7, 3010 Bern
Tel. +41 31 632 25 80
Fax +41 31 632 98 75
E-Mail:
franziska.jeger@zmk.unibe.ch

Bild oben: externe Resorption dargestellt in der digitalen Volumentomographie

Zusammenfassung Seit der Einführung der digitalen Volumentomographie (DVT) hat sich diese Technik der Bildgebung in zahlreichen Gebieten der Zahnmedizin etabliert. Die Darstellung der dritten Dimension kann auch bei der Diagnostik und Therapie in der Endodontologie helfen. Die höhere Strahlendosis und Kosten einer DVT-Aufnahme im Vergleich zum Einzelzahnbild (EZR) sind jedoch nicht immer gerechtfertigt: In der dreidimensionalen Darstellung werden zwar mehr periapikale Pathologien erkannt, wobei diese Befunde meist nur im Zusammenhang mit einer entsprechenden klinischen Symptomatik von Bedeutung sind. Ebenso muss bei Verdacht auf Wurzelfrakturen

oder -resorptionen abgewogen werden, ob das erworbene Informationsplus die Prognose des Zahnes verbessert oder lediglich das Interesse über die genaue Lokalisation und Ausmass der Pathologie erfüllt. Vor der Verordnung einer DVT-Aufnahme muss bedacht werden, dass radio-opaque Materialien zu Artefakten führen, welche die Diagnostik erschweren können. Diese Übersichtsarbeit soll die wichtigsten Indikationen und Grenzen der DVT-Anwendung in der Endodontologie zusammenfassen und als Entscheidungshilfe im Praxisalltag dienen. Zusätzlich wird darauf eingegangen, wie vorbestehende 3-D-Aufnahmen für Wurzelkanalbehandlungen genutzt werden können.

Einleitung

Die Technologie der digitalen Volumentomographie (DVT) wurde in der Zahnmedizin erstmals im Jahr 1998 beschrieben (MOZZO ET AL. 1998). Seither hat sich diese dreidimensionale Technik der Bildgebung für die Diagnostik und Therapieplanung von immer mehr Fragestellungen in der Zahnmedizin etabliert. Insbesondere für die Planung oralchirurgischer Eingriffe, wie beispielsweise Implantatoperationen bei zweifelhaften Knochenverhältnissen, ist die DVT die Bildgebung der ersten Wahl (ZIEGLER ET AL. 2002, HARRIS ET AL. 2012). Die Vorteile im Vergleich zur konventionellen Computertomographie (CT) sind die höhere Auflösung und die geringere Strahlenbelastung (LUDLOW ET AL. 2003, HIRSCH ET AL. 2003, COHENCA ET AL. 2007).

Auch bei der Planung und Durchführung von Wurzelkanalbehandlungen kann eine dreidimensionale Bildgebung wertvolle Zusatzinformationen liefern. Im dargestellten Volumen können genaue Lage und Anzahl der Wurzelkanäle bestimmt und, mittels einer integrierten Funktion der Anwendersoftware, sogar die Arbeitslänge einer Wurzelkanalbehandlung vor Beginn der Behandlung vermessen werden (MICHETTI ET AL. 2010, JANNER ET AL. 2011, JEGER ET AL. 2012). Trotzdem ist es schwierig zu evaluieren, welche endodontologischen Fragestellungen eine DVT-Aufnahme und die damit verbundene erhöhte Strahlen- und Kostenbelastung im Vergleich zum zweidimensionalen Einzelzahnrontgen (EZR) rechtfertigen (Tab. I). Gewisse Befunde lassen sich zwar in der DVT eindrücklich darstellen, doch wird weder die Therapieplanung noch die Durchführung der geplanten Behandlung durch die abgebildete dritte Dimension so beeinflusst, dass nicht auch die konventionelle zweidimensionale Röntgentechnik zum gleichen Ziel führt. Ausserdem gibt es klinische Verdachtsdiagnosen, bei welchen der behandelnde Zahnarzt eine genauere Darstellung mittels DVT begrüssen würde, aber auch diese hochauflösende Röntgentechnik die Pathologie nicht eindeutig, d. h. diagnostisch, charakterisieren kann. Ein Beispiel dafür stellt die Diagnostik von Weichgewebsneoplasien dar, wo andere Techniken der Bildgebung wie die Magnetresonanztomographie (MRT) geeigneter sind (HORNER ET AL. 2011).

Ziel dieser Arbeit ist es, einen Überblick zu Möglichkeiten und Grenzen des DVT-Einsatzes im Rahmen von endodontologischen Behandlungen anhand der aktuellen wissenschaftlichen Evidenz darzustellen. Der Artikel soll als Entscheidungs-

hilfe für den Praxisalltag dienen, damit die DVT-Technologie unter Berücksichtigung des ALARA-Prinzips (As Low As Reasonably Achievable) korrekt und mit klarem Nutzen für den Patienten eingesetzt werden kann.

Methodik

Mit einer Literatursuche innerhalb der PubMed-Datenbank wurden Arbeiten über die Anwendungen der digitalen Volumentomographie in der Endodontologie gesucht. Die Suchbegriffe waren: «cbct» AND «endodontology», «cbct» AND «endodontics», «cbct» AND «periapical pathology», «cbct» AND «root fracture» und «cbct» AND «resorption». Nach Durchsicht der Arbeiten wurde die Literatur durch die Suchoption «related citations» ergänzt. Es wurden Publikationen im Zeitraum zwischen August 1998 (Beschreibung der digitalen Volumentomographie durch MOZZO ET AL. 1998) und Juni 2012 in diese Übersicht einbezogen. Die wesentlichen Aspekte der vorhandenen Literatur werden für diesen Artikel zusammengefasst und sollen zusammen mit den klinischen Erfahrungen der Autoren eine Übersicht zum Thema geben.

Resultate

Zu den genannten Suchkriterien wurde folgende Anzahl von Arbeiten gefunden: «cbct» AND «endodontology» (12), «cbct» AND «endodontics» (88), «cbct» AND «peri-apical pathology» (28), «cbct» AND «root fracture» (26) und «cbct» AND «resorption» (65).

Darstellung der Wurzelanatomie in der DVT

Diverse wissenschaftliche Arbeiten haben die Anatomie der Zahnwurzeln in der DVT untersucht: Eine Ex-vivo-Studie von Michetti und Mitarbeitern führt die Möglichkeit der Darstellung der Wurzelkanalanatomie durch die DVT-Technologie ein und validiert diese. Die mittels DVT errechnete dreidimensionale Kanalanatomie von neun extrahierten menschlichen Zähnen korrelierte mit der histologischen Kanalmorphologie stark bis sehr stark (MICHETTI ET AL. 2010). In weiteren Forschungsarbeiten wurde unter anderem die hohe Prävalenz eines C-förmigen Kanalquerschnittes in unteren 7ern (29%) und einer dritten Zahnwurzel in unteren 6ern (29%) in der chinesischen Bevölkerung dokumentiert (ZHANG ET AL. 2011). Auch die Morphologie oberer Molaren in einer indischen Po-

Tab. I Übersicht der effektiven Strahlendosis und Kosten (gemäss GIBBS 2000, MAH ET AL. 2003, PATEL 2009, PAUWELS ET AL. 2012)

	Effektive Strahlendosis (µSv)	Kosten bei einem Taxpunkt-wert von 3.10 (CHF)*
Einzelzahnrontgen, Molar	0,6–5	17.05
Panoramaschichtaufnahme	2,9–11	139.50
Digitale Volumentomographie, kleines Volumen, z. B. 4×4 cm	19–44	350.30
Digitale Volumentomographie, mittleres Volumen, z. B. 6×6 oder 4×8 cm	28–265	350.30
Digitale Volumentomographie, grosses Volumen, z. B. 8×8 cm	68–368	350.30
Computertomographie, Schädel (nativ)	Oberkiefer: 1400 Unterkiefer: 1320 Bimaxillär: 2100	314.90 (KVG) bzw. 346.00 (UV/MV/IV)
Kosmische Strahlung bei einem Retourflug innerhalb Europa	10–40	–

* inkl. Befundung

pulation wurde untersucht (NEELAKANTAN ET AL. 2010). Die Möglichkeit der genauen Darstellung des Wurzelkanalverlaufes in drei Dimensionen wird überdies von zahlreichen Falldokumentationen anatomischer Normvarianten (wie beispielsweise Molaren mit acht Wurzelkanälen oder die Darstellung von dentes invaginati) belegt (KOTTOOR ET AL. 2010, ABELLA ET AL. 2011, DURACK & PATEL 2011, IOANNIDIS ET AL. 2011).

Diagnostik und Therapieplanung von periapikalen Pathologien

Diverse Arbeiten haben gezeigt, dass mithilfe der DVT 26–34% mehr periapikale Pathologien diagnostiziert werden als im EZR (LOW ET AL. 2008, BORNSTEIN ET AL. 2011, PATEL ET AL. 2012). Gerade kleine radiologische Aufhellungen und die anatomische Überlagerung durch kortikalen Knochen, Jochbein oder weitere Zahnwurzeln erschweren die Diagnostik im zweidimensionalen Bild (PATEL ET AL. 2011). Lofthag-Hansen hat mit ihrer Forschungsgruppe ebenfalls EZR mit DVT-Aufnahmen verglichen. Dabei wurde zusätzlich zur Paralleltechnik eine zweite konventionelle Röntgenaufnahme mit um 10 Grad verändertem Strahlenwinkel erstellt (parallaktische Strahlenverschiebung), doch auch unter diesen Voraussetzungen konnten in den DVT-Aufnahmen bei 32 von 46 Zähnen zusätzliche Pathologien diagnostiziert werden. Diese ergänzenden Diagnosen waren jedoch in 30% der Fälle ohne therapeutische Konsequenzen. Daher empfiehlt die schwedische Autorengruppe eine DVT-Aufnahme zur Diagnostik periapikaler Pathologien nur in Fällen, in denen die konventionelle zweidimensionale Bildgebung keine Pathologien nachweisen kann, während Anamnese und klinischer Befund eine solche vermuten lassen (LOFTHAG-HANSEN ET AL. 2007, Abb. 1).

Ob radikuläre Zysten von apikalen Granulomen mittels DVT voneinander differenziert werden können, ist in den zwei vorhandenen Untersuchungen mit 17 bzw. 45 Patienten umstritten (SIMON ET AL. 2006, ROSENBERG ET AL. 2010). Die breiter angelegte Studie (45 Patienten und 4 unabhängige Radiologen bzw. Histologen) fand eine schwache Korrelation zwischen den Radiologen und kommt zur Schlussfolgerung, dass zur definitiven Diagnostik nach wie vor eine histopathologische Untersuchung nötig ist (ROSENBERG ET AL. 2010). Zur Unterscheidung apikaler Läsionen endodontologischen Ursprungs von nicht dentogenen Aufhellungen wie Zysten und Neoplasien zeigten sechs Fallberichte die unerlässliche Rolle der DVT zur initialen Beurteilung und Therapieplanung auf. Für eine definitive Dia-

gnose dieser apikalen Läsionen (drei Neoplasien bzw. drei Kieferzysten) wurde jedoch jeweils die Notwendigkeit einer histopathologischen Untersuchung des entnommenen Gewebes bestätigt (BORNSTEIN ET AL. 2008, BUENO ET AL. 2008, FAITARONI ET AL. 2008, ESTRELA ET AL. 2009, SUTER ET AL. 2011).

Eine weitere Indikation der DVT ist die Planung periapikal-chirurgischer Eingriffe. Sowohl im Ober- wie auch im Unterkieferseitenzahnggebiet schnitt die DVT bezüglich Lokalisation der apikalen Pathologie, sowie als Planungsunterlage für die Festlegung des optimalen chirurgischen Zuganges (oro-faziale Dimension), besser ab als die zweidimensionale Bildgebung (RIGOLONE ET AL. 2003, LOW ET AL. 2008, BORNSTEIN ET AL. 2011). Vor einer geplanten periapikalen Chirurgie im Oberkieferseitenzahnggebiet konnte mittels DVT die Beziehung von Zahnwurzeln bzw. apikaler Läsionen zum knöchernen Sinusboden und zur Schneider'schen Membran untersucht werden. Es wurde eine dickere Knochenschicht zwischen Apex bzw. apikaler Läsion und der Kieferhöhle einerseits und eine verdickte Schneider'sche Membran andererseits bei wurzelbehandelten Zähnen mit apikaler Aufhellung im Vergleich zu vitalen Zähnen beobachtet (BORNSTEIN ET AL. 2012).

Diagnostik und Therapieplanung von Wurzelfrakturen in der DVT

Immer wieder steht man im Praxisalltag vor der Verdachtsdiagnose einer Wurzelfraktur. Für die Prognose dieser Zähne ist der Verlauf des Frakturspaltes ausschlaggebend: Dabei ist es entscheidend, ob eine Vertikalfraktur vorliegt beziehungsweise eine horizontale Fraktur mit dem gingivalen Sulkus kommuniziert (CVEK ET AL. 2008). In einer Untersuchung von 44 horizontal traumatisch frakturierten Zahnwurzeln wurden anhand von EZR und Okklusalaufnahmen 11% der Frakturen im zervikalen Wurzeldrittel lokalisiert, während mittels DVT die Anzahl solcher prognostisch ungünstigen Frakturen auf 68% anstieg. Da nur Zähne eingeschlossen wurden, die bereits im zweidimensionalen Röntgen eine Fraktur zeigten, wurde die Lokalisation des Frakturspaltes mittels DVT versus EZR und Okklusalaufnahme und nicht der Frakturachweis per se untersucht (BORNSTEIN ET AL. 2009).

In-vitro- (HASSAN ET AL. 2009, KHEDMAT ET AL. 2012) und klinische Studien (BERNARDES ET AL. 2009) zeigen, dass in der DVT im Vergleich zur EZR-Technik mehr Wurzelfrakturen erkannt werden. Die hohe Sensitivität der DVT sank beim Vorhandensein radio-opaker Materialien in den Wurzelkanälen (z. B. Metall-

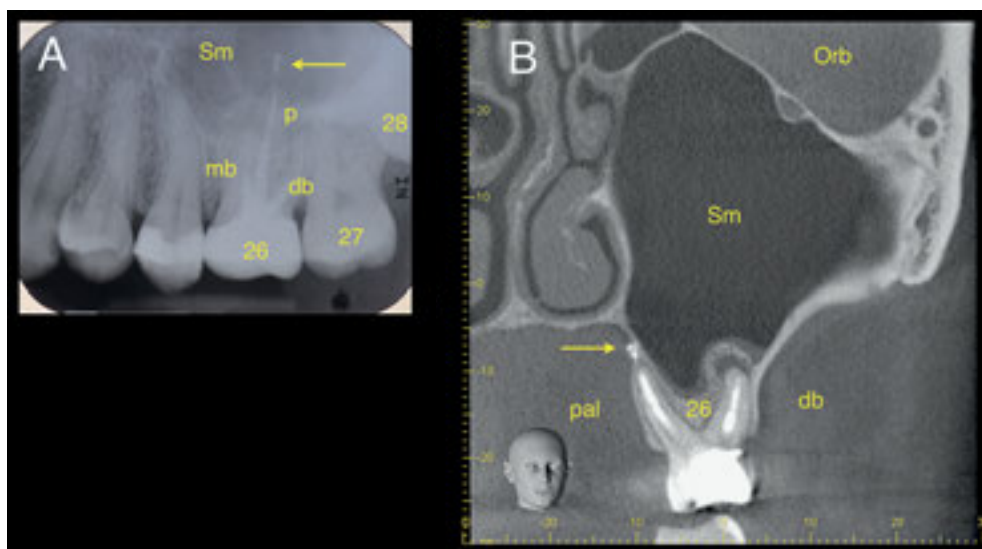


Abb. 1 Patientin mit Anamnese sinusitischer Beschwerden und bekannter apikaler Pathologie der beiden bukkalen Wurzeln des Zahnes 26. Fragestellungen: Liegt das Fremdmaterial apikal der palatinalen Wurzel im Sinus maxillaris (Pfeil)? Einzelzahnrontgen (A), koronale DVT-Ebene (B), Orbita links (Orb), Sinus maxillaris links (Sm), palatinale Wurzel von 26 (pal), distobukkale Wurzel von 26 (db), Fremdmaterial ausserhalb des Sinus maxillaris (Pfeil).

stifte, aber auch Guttapercha) wegen Artefaktbildungen von 92% auf 80% (KHEDMAT ET AL. 2012, Abb. 2 und 3). Hassan und Mitarbeiter hingegen konnten in ihrer In-vitro-Studie Frakturen in endodontologisch behandelten Zähnen mittels DVT genauso gut diagnostizieren wie in Zähnen ohne Wurzelkanalfüllung (HASSAN ET AL. 2009). Auch Bernardes und Mitarbeiter konnten in einer klinischen Arbeit nur bei zwei Zähnen mit Metallstiften die Fraktur in der DVT nicht erkennen (BERNARDES ET AL. 2009). In einer In-vitro-Studie schnitt aufgrund der Artefaktbildung durch Guttapercha in der DVT, die CT besser ab. Trotz höherer Strahlendosis schlugen die Autoren daher die Anfertigung einer CT zur Diagnostik von vertikalen Wurzelfrakturen vor (KHEDMAT ET AL. 2012).

In der dentalen Traumatologie gilt ein EZR in Kombination mit einer Aufbissaufnahme mittels Halbwinkeltechnik als Standardbildgebung bei der Erstversorgung von Unfallzähnen. Die Fraktur ist jedoch in der zweidimensionalen Bildgebung aus geometrischen Gründen nur dann sichtbar, wenn der Strahlengang parallel zur Frakturebene verläuft und keine Überlagerungen die Diagnostik beeinträchtigen (VON ARX ET AL. 2005).

Diagnostik und Therapieplanung von Wurzelresorptionen

Die meisten publizierten Studien zum Thema Wurzelresorptionen und DVT beschäftigen sich mit orthodontischen Fragestellungen insbesondere mit dem Problem der periapikalen

Wurzelresorption nach kieferorthopädischen Behandlungen (LUND ET AL. 2012, PATEL ET AL. 2012). Es gibt nur wenige Arbeiten, die externe und interne Wurzelresorptionen untersuchen. In einer aktuellen Schweinekieferstudie von Kumar und Mitarbeitern konnten artifiziell erstellte Wurzelläsionen dreier verschiedener Durchmesser im dreidimensionalen wie auch im konventionellen EZR korrekt nachgewiesen werden (KUMAR ET AL. 2011). In einer weiteren Ex-vivo-Studie an menschlichen unteren Schneidezähnen konnte die DVT hingegen im Vergleich zum EZR kleinere (0,5 mm Durchmesser) simulierte externe Wurzelresorptionen nachweisen (DURACK ET AL. 2011). Größere (1 mm Durchmesser) Defekte wurden mit beiden Methoden gleich gut erkannt. Patel und Mitarbeiter verglichen in einer klinischen Studie die Detektion verschiedener Resorptionstypen (interne Resorption: n=5; externe Resorption: n=5; keine Resorption: n=5) mittels DVT versus EZR. Sie folgerten, dass die Wahrscheinlichkeit einer korrekten Diagnose und Behandlung der externen Resorption mittels Anfertigung einer DVT zusätzlich zum EZR von 83% auf 100% stieg, bei internen Resorptionen sogar von 78% auf 100% (PATEL ET AL. 2009). Diverse Falldokumentationen bestätigen diese Ergebnisse und zeigen, dass eine DVT-Aufnahme vor allem zur genauen Lokalisation der resorptiven Läsion und somit für den Entscheid, ob der Zahn erhalten werden kann oder nicht, indiziert ist (COHENCA ET AL. 2007, Abb. 4).

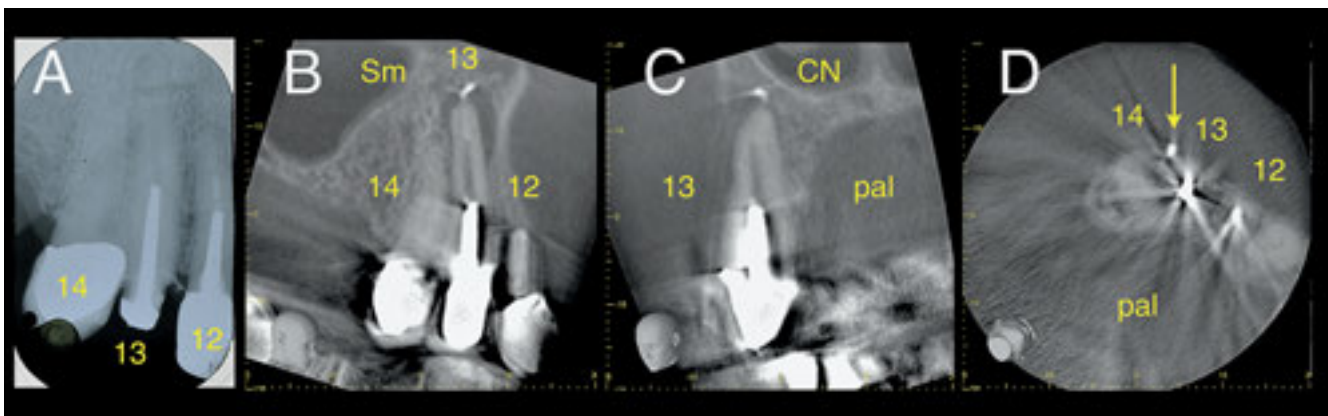


Abb. 2 DVT-Diagnostik einer ausgedehnten periapikalen Läsion mit apiko-marginaler Fistelbildung bei Zahn 13. Keine Artefakte im EZR (A). Der Metallstift erzeugt in allen drei DVT-Ebenen deutliche Artefakte (B–D). Sinus maxillaris rechts (Sm), Cavum Nasi (CN), palatinal (pal), Fremdkörper (Pfeil).

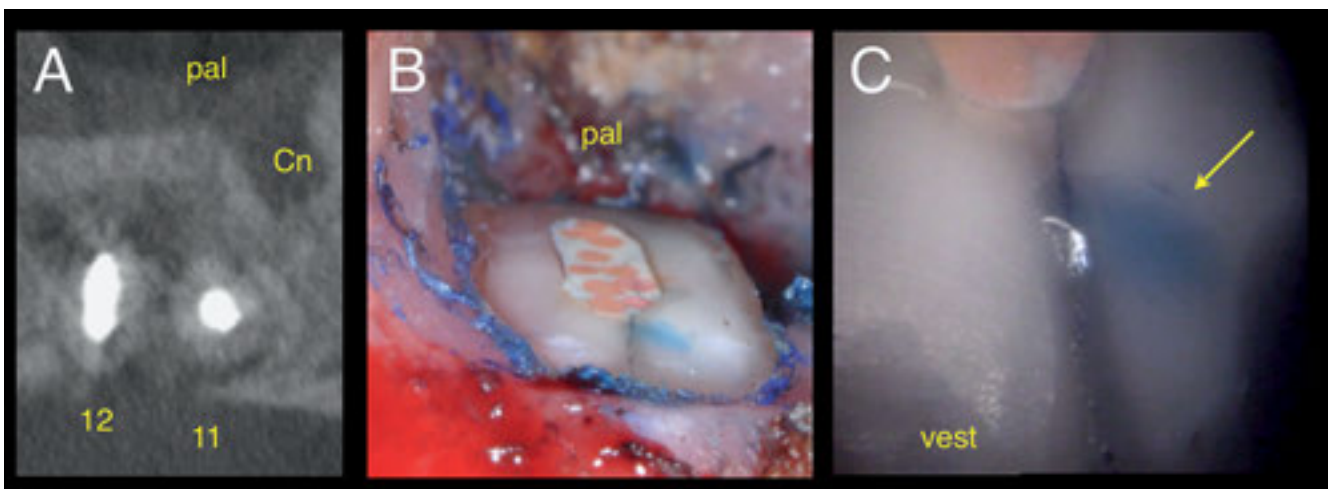


Abb. 3 Im Rahmen der Planung einer periapikalen Chirurgie wurden die Zähne 12 und 11 mittels DVT untersucht. Im vestibulären Aspekt von 12 ist kein eindeutiger Spalt (crack) erkennbar (horizontale Ebene, A). Intraoperativ nach apikaler Resektion kann ohne Sehhilfe (B) und endoskopisch (C) nach vorgängiger Anfärbung mit Methylblau ein Frakturspalt (incomplete crack) in der vestibulären Dentinwand diagnostiziert werden. Palatinal (pal), vestibulär (vest), Canalis nasopalatinus (Cn), leakage (Pfeil).

Diskussion

Allgemeine Überlegungen

Unabhängig von der Einführung der DVT wurden diverse Arbeiten publiziert, die sich mit den Einschränkungen und Limitationen der zweidimensionalen radiologischen Bildgebung beschäftigen. Die Grenzen der konventionellen Röntgentechnik in der Zahnmedizin waren für viele Fragestellungen bekannt, und es wurden Lösungsansätze durch zusätzliche Projektionen, Ultraschall oder 3-dimensionale Bildgebung mittels CT oder MRT gesucht (PATEL ET AL. 2009A). Die Entwicklung der DVT brachte hauptsächlich folgende Vorteile gegenüber der konventionellen zweidimensionalen Bildgebung (Panoramiaschichtaufnahme [PSA] und EZR): Die zusätzliche Darstellung der oro-fazialen Ebene, die Abbildung des untersuchten Objektes ohne geometrische Verzerrung und die Möglichkeit, Schnittebenen ohne Überlagerungen von Nachbarstrukturen darzustellen. Im Vergleich zur CT ist die Auflösung höher und ausgewählte Volumina – sogenannte field of views (FOV) – können abgebildet werden, wodurch dem Patienten eine deutlich kleinere effektive Strahlendosis (bis 70× weniger) zugemutet wird (Tab. I).

Trotz der optimierten Strahlendosis gegenüber der CT darf nicht vergessen werden, dass die Belastung mit ionisierenden Strahlen durch DVT um ein Mehrfaches höher ist als bei einem EZR. Die Exposition eines Individuums gegenüber ionisierenden Strahlen jeder Art steigert die Inzidenz von Neoplasien (PAUWELS & BOURGUIGNON 2012). In den letzten drei Dekaden wurde mithilfe sensitiverer Bildträger und durch die Digitalisierung der Röntgenaufnahmen zwar eine Reduktion der effektiven Strahlendosis pro diagnostischer Röntgenaufnahme in der (Zahn-)Medizin bewirkt, doch gleichzeitig nahm die Verfügbarkeit und die Indikationsbreite der strahlenreicheren Techniken wie CT und DVT zu, was zu insgesamt häufigeren und strahlenreicheren Aufnahmen pro Patient führte (SCHONFELD ET AL. 2011).

Die Festlegung der Grösse des FOV ist für die Strahlenbelastung entscheidend (HORNER ET AL. 2011): Die Wahl eines grösseren FOV bedeutet beim selben DVT-Gerät eine Erhöhung der effektiven Strahlendosis (Tab. I). Gemäss dem ALARA-Prinzip sollte vor jeder DVT-Aufnahme eine zweidimensionale, strahlenärmere Aufnahme erfolgen: Diese entspricht in der Endodontologie dem EZR (PATEL ET AL. 2009 A). Sollte die kon-

ventionelle Röntgentechnik zur Diagnostik nicht ausreichen und durch eine dreidimensionale Bildgebung mehr Informationen erwartet werden, wird mithilfe des zweidimensionalen Bildes das FOV bestimmt. Aufgrund der Dimensionen eines menschlichen Zahnes und bei fehlendem Verdacht auf eine ausgedehnte intraossäre Pathologie reicht im Rahmen von endodontologischen Abklärungen meistens ein kleines FOV von 4×4 oder 4×3 cm (PATEL ET AL. 2011), während bei Verdacht auf eine intraossäre Raumforderung (Kieferzyste, Neoplasie) das FOV auf 6×6 cm ausgedehnt werden sollte (BOFFANO ET AL. 2010). Es muss aber an dieser Stelle betont werden, dass die Festlegung der Volumengrösse primär auf Befunden bzw. Verdachtsdiagnosen im zweidimensionalen Ausgangsbild basiert und die erwähnten FOV nur Richtwerte darstellen. Prinzipiell sollte eine unnötige Ausdehnung des FOV aus Gründen des Strahlenschutzes vermieden werden. Nicht zuletzt ist die Befundung des gesamten aufgenommenen Datenmaterials eine Pflicht, die jede DVT-Herstellung mit sich bringt (BUNDESREGIERUNG BRD 2002, CARTER ET AL. 2008, SCHULZE ET AL. 2009). Ein unnötiger Einschluss von für den Behandler nicht relevanten und fachfremden anatomischen Regionen in das FOV muss auch aus diesem Grund kritisch hinterfragt werden.

Neben Volumengrösse und Strahlendosis kommen bei der Verordnung auch Aufnahmebezogene Überlegungen ins Spiel. Das Einscannen eines DVT-Volumens setzt eine korrekte Lagerung des Patienten im DVT-Gerät voraus. Dies ist nur dann möglich, wenn der Zugang zum Patientensitz- bzw. -liegeplatz (je nach Gerät) gewährleistet ist. Rollstuhlpflichtige Patienten sind beispielsweise nur nach Umplatzierung zu röntgen. Bei Patienten, die während der gesamten Aufnahmezeit (Standardaufnahmezeit beim Morita 3D Accuitomo F170 Gerät: 17,5 Sekunden) nicht bewegungslos sitzen können, kann keine optimale Bildqualität erzielt werden. Im schlechtesten Fall ist das Bild aufgrund der Bewegungsartefakte nicht beurteilbar. Bewegungsartefakte sind nicht die einzigen Störfaktoren einer korrekten Darstellung von DVT-Bildern. Es muss beachtet werden, dass metallene Rekonstruktionen sowie stark radiopakes Wurzelkanalfüllungsmaterial radiologische Artefakte erzeugen und somit die Diagnostik in der DVT – wie auch im konventionellen CT – erschweren (Abb. 3). Die häufigsten Aufnahmeartefakte in DVT-Aufnahmen sind Strahlauhärtung (beam hardening), Strahlenstreuung (scatter), Überlappungsverzerrung (aliasing), Bildrauschen (noise) und Strichartefakte

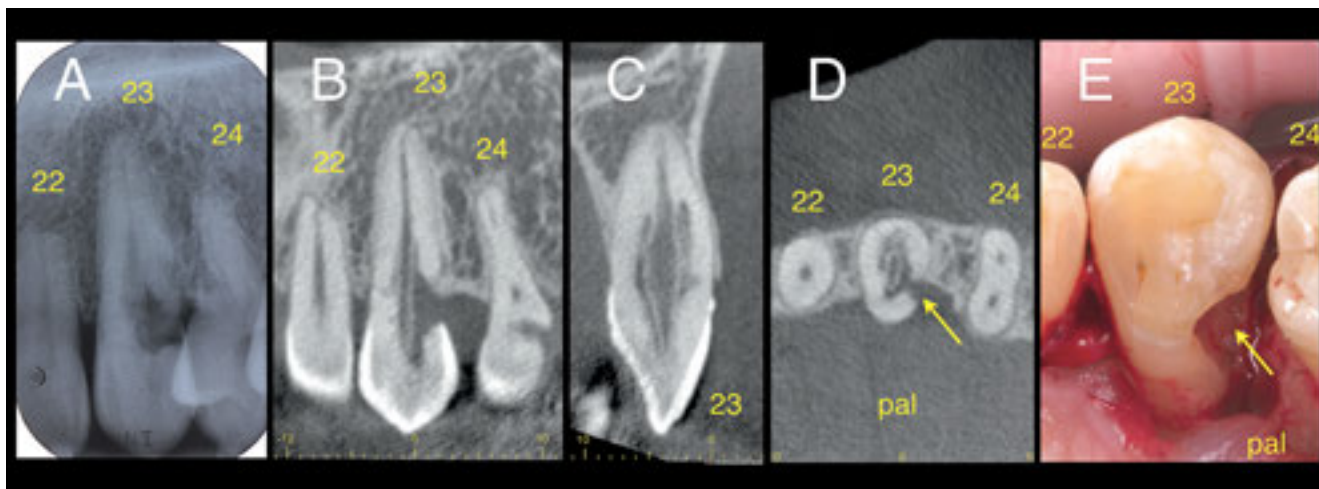


Abb. 4 Ausgedehnte externe Resorption im EZR (A) und in der DVT (mesio-distale Ebene [B]; oro-faziale Ebene, [C]). Fragestellung zur Abschätzung der Prognose des Zahns: Kommuniziert die Läsion einzig distopalatinal mit dem Parodont? In der horizontalen DVT-Ebene (D) und intraoperativ (E) ist der einzige Eingang der resorptiven Läsion (Pfeil) ersichtlich. Palatinal (pal).

Tab. II Übersicht der Indikationen einer digitalen Volumentomographieaufnahme in der Endodontologie

	Pro digitale Volumentomographie	Contra digitale Volumentomographie	Fazit
Anatomie	<ul style="list-style-type: none"> • 3-D-Darstellung • keine Überlagerungen • Erkennung von (Norm-)Varianten 	<ul style="list-style-type: none"> • zusätzliche, exzentrische intraorale Aufnahme oft ausreichend 	<ul style="list-style-type: none"> • DVT falls Prognose des Zahns dadurch besserbar
Periapikale Pathologien	<ul style="list-style-type: none"> • mehr periapikale Pathologien erkennbar als im Einzelzahnrontgen 	<ul style="list-style-type: none"> • geringe therapeutische Relevanz der diagnostizierten Pathologien 	<ul style="list-style-type: none"> • DVT zur Diagnostik unklarer Schmerzen bei fehlendem Nachweis im Einzelzahnrontgen • DVT zur Planung chirurgischer Eingriffe
Wurzelfrakturen	<ul style="list-style-type: none"> • Lage des Frakturspaltes entscheidend für die Prognose • dislozierte Frakturen zuverlässig diagnostizierbar 	<ul style="list-style-type: none"> • klinischer Befund und Verlaufskontrollen oft ausreichend • Artefakte durch radio-opake Rekonstruktion 	<ul style="list-style-type: none"> • DVT falls marginale Lage des Frakturspaltes vermutet • CAVE: Artefakte
Resorptionen	<ul style="list-style-type: none"> • genaue Lokalisation erkennbar • chirurgischer Zugang planbar 	<ul style="list-style-type: none"> • im fortgeschrittenen Zustand reicht Einzelzahnfilm für Extraktionsentscheid 	<ul style="list-style-type: none"> • zur Therapieplanung, falls Zahnerhalt gemäss Diagnostik im Einzelzahnrontgen möglich scheint

(streak artifacts): Die Häufigkeit solcher Artefakte nimmt in Anwesenheit stark röntgendichter Materialien markant zu und, bei ausgedehnten FOVs, ebenfalls nach peripher (SCHULZE ET AL. 2011). Die DVT scheint – trotz etwas widersprüchlicher Datenlage – allgemein weniger Störungen als die CT aufzuweisen. Intraorale Zahnfilme sind hingegen praktisch frei von solchen Artefakten. Beim Vorhandensein vieler zahnärztlicher Rekonstruktionen und Restaurationen können deshalb EZR mit verschiedenen Projektionsrichtungen aussagekräftiger als eine DVT-Aufnahme sein (KHEDMAT ET AL. 2012, LOFTHAG-HANSEN ET AL. 2007).

Als weiterer Aspekt beim Entscheidungsfindungsprozess über eine DVT-Aufnahme muss die finanzielle Belastung berücksichtigt werden. Seit dem 1.12.2011 ist die Verrechnung einer DVT-Aufnahme samt Befundung mit einem Abkommen zwischen der Zentralstelle für Medizinaltarife UVG (ZMT) und der Schweizerischen Zahnärzte-Gesellschaft SSO in der Schweiz geregelt (Tab. I).

Anatomie

Eine dreidimensionale Analyse der Wurzelkanalanatomie ist zu endodontologischen Zwecken verlockend. Die Lage der Kanäle, deren Verlauf und sogar die Arbeitslänge können unabhängig von der Patientenanwesenheit vor dem Beginn der Wurzelkanalbehandlung beurteilt werden (JEGER ET AL. 2012). Ebenso sind anatomische Variationen darstellbar (KOTTOOR ET AL. 2011, DURACK & PATEL 2011). Trotzdem soll aus bereits diskutierten Gründen nur dann eine DVT-Aufnahme im Rahmen endodontologischer Therapien verordnet werden, wenn klinische und intraoperative Untersuchungen wie auch EZR mit verschiedenen Strahlengängen an ihre Grenzen stossen und die Prognose des Zahns durch die Darstellung der dritten Dimension verbessert werden kann.

Periapikale Pathologien

In DVT-Aufnahmen können periapikale Pathologien besser und auch häufiger als in zweidimensionalen Röntgenbildern diagnostiziert werden (LOFTHAG-HANSEN ET AL. 2007, LOW ET AL. 2008, BORNSTEIN ET AL. 2011, PATEL ET AL. 2012). Fraglich ist jedoch, ob diese Befunde auch eine klinische Relevanz haben, d.h. zur Änderung des Therapieplans führen. Für den klinischen Alltag werden DVT-Aufnahmen ähnlich wie bei der Wurzelanatomie nur dann zur Diagnostik periapikaler Pathologien empfohlen, wenn die zweidimensionale Bildgebung unzurei-

chend ist. Das heisst, wenn Ursachen unklarer Schmerzsymptomaten gesucht werden, zur Differenzialdiagnose neoplastischer Prozesse wie Ameloblastome oder keratozystischer odontogener Tumore (BOFFANO ET AL. 2010); und schliesslich für die Planung von komplexen endochirurgischen oder oralchirurgischen Eingriffen (PIGG ET AL. 2011, AAE 2011, ZIEGLER ET AL. 2002). Bei letzteren stehen die Analyse der Lagebeziehung zu den Nachbarstrukturen und die technische OP-Planung im Vordergrund. Die bis dato als Goldstandard empfohlene abschliessende Diagnostik ist die histopathologische Untersuchung, was in der Regel einen chirurgischen Ansatz und eine mikroskopische Befundung des entfernten Gewebes voraussetzt (ROSENBERG ET AL. 2010).

Wurzelfrakturen

Die aktuelle Literatur besagt, dass sowohl das Vorhandensein wie auch der Verlauf einer Wurzelfraktur in der DVT zuverlässig erkennbar ist. Als Voraussetzungen für eine zuverlässige Diagnostik werden das Fehlen von röntgenopakem Restaurationmaterialien und eine minimale Spaltbreite (was bei Wurzelfrakturen, vor allem an Unfallzähnen, aufgrund der Fragmentdislokation häufig vorkommt) diskutiert (HASSAN ET AL. 2009, BERNARDES ET AL. 2009). Die Defektbreite scheint, besonders in Anwesenheit röntgendichter und Artefakte erzeugender Materialien, eine wesentliche Rolle beim Nachweis eines Spaltes zu spielen. Bei jungen und nicht behandelten Zähnen ist der Nachweis traumatisch bedingter Wurzelfrakturen zuverlässig (BORNSTEIN ET AL. 2009). Untersuchungen zu unvollständigen und nicht dislozierten Wurzelfrakturen (craze lines, cracked teeth) mittels DVT-Diagnostik sind hingegen keine bekannt: Aufgrund der vorliegenden Literatur muss davon ausgegangen werden, dass Frakturen unter Berücksichtigung der Auflösung der aktuellen DVT-Geräte oftmals nur klinisch oder chirurgisch nachweisbar sind (Abb. 2). Neben der klinischen Diagnostik und der zweidimensionalen Röntgentechnik mit mindestens zwei unterschiedlichen Projektionsebenen (beispielweise apikal und okklusal) ist bei Frakturverdacht also abzuschätzen, ob eine zusätzliche dreidimensionale Bildgebung für den Behandlungsentcheid und die Prognose des Zahns tatsächlich ausschlaggebend ist. Der Therapieentscheid bei einer Wurzelfraktur richtet sich nach der Dislokationsart des koronalen Zahnfragmentes, welches klinisch beurteilt werden kann, und nach der apiko-marginalen Lage des Frakturspaltes (VON ARX ET AL. 2005). Da die Inzidenz traumatischer

Zahnverletzungen sich auf Kinder und Jugendliche konzentriert, ist eine restriktive Indikationsstellung für strahlenreiche Aufnahmen umso mehr obligat. Sobald der Zahn mit röntgenopakem Material rekonstruiert ist (Neigung zur Erzeugung von Artefakten) oder das frakturierte Zahnfragment nicht disloziert ist, wird, wie bereits besprochen, eine DVT-Diagnostik durch Artefakte oder durch die minime Spaltbreite erschwert oder gar verunmöglicht. In solchen Fällen wird von den Autoren zur Diagnostik einer Wurzelfraktur die klinische Untersuchung mittels einer Parodontalsonde sowie eine Beurteilung unter dem Operationsmikroskop empfohlen. Bis dato sind den Autoren keine Studien bekannt, welche die Frakturdiagnostik mittels DVT und EZR unter Berücksichtigung der klinischen Untersuchung miteinander verglichen haben, was im klinischen Alltag hingegen die Norm ist. Tesis und Co-Autoren folgern in ihrer Übersichtsarbeit, dass die Frakturdiagnostik mithilfe der DVT noch besser untersucht werden muss, bevor allgemein gültige Empfehlungen verfasst werden können (TESIS ET AL. 2010).

Wurzelresorptionen

Da die DVT eine dreidimensionale und frühzeitige Darstellung von Wurzelresorptionen erlaubt, können Behandlungsscheide ohne invasives Vorgehen gefällt werden. Wenn eine Rekonstruktion möglich ist, kann zusätzlich der optimale chirurgische Zugang zur Therapie der Läsion in der DVT-Aufnahme definiert werden (COHENCA ET AL. 2007, PATEL ET AL. 2009).

Schlussfolgerungen

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass vor der Entscheidung, eine DVT-Aufnahme im Rahmen von endodontologischen Behandlungen anzufertigen, unbedingt eine ausführliche klinische Untersuchung sowie eine entsprechende zweidimensionale Röntgendiagnostik durchgeführt werden müssen, um Patienten vor unnötiger Strahlenbelastung zu schützen. Bei der Anfertigung bzw. einer Überweisung zur DVT muss neben der genauen Fragestellung auch geklärt sein, welche zusätzlichen Strukturen abgebildet werden sollen, damit

die Diagnostik optimal ist und der Patient gleichzeitig nur mit einem möglichst kleinen FOV bestrahlt wird. Ebenso ist es im Praxisalltag wichtig, dass man den Datenpool vorhandener DVT-Aufnahmen – insbesondere für endodontologische Therapieschritte – optimal ausnutzt.

Verdankung

Dr. med. dent. Véronique Stoupa (Klinik für Zahnerhaltung, Präventiv- und Kinderzahnmedizin, zmk Bern) danken wir für die Zurverfügungstellung der Abbildung 4A.

Abstract

JEGER F B, LUSSI A, BORNSTEIN M M, JACOBS R, JANNER S F M: **Cone beam computed tomography in endodontics: a review for the daily clinical practice** (in German). Schweiz Monatsschr Zahnmed 123: 661–668 (2013)

Since the introduction of cone beam computed tomography (CBCT), this 3-dimensional diagnostic imaging technique has been established in a growing number of fields in dental medicine. It has become an important tool for both diagnosis and treatment planning, and is also able to support endodontic treatments. However, the higher effective dose of ionizing radiation compared to conventional 2-dimensional radiographs is not justifiable in every case. CBCT allows for a more precise diagnosis of periapical lesions, root fractures as well as external and internal resorptions. Concerning the utility of CBCT in treatment planning decisions, the gain of information through 3-dimensional imaging for any of these pathologies has to be evaluated carefully on an individual basis. Moreover, radiopaque materials such as root canal filling and posts often create artefacts, which may compromise diagnosis. The aim of this review is to summarize the possibilities and limits of CBCT imaging in endodontology as well as to introduce guidelines for daily clinical practice. Furthermore, the article presents possible therapeutic advantages of preexisting CBCT scans for root canal treatments.

Literatur

- ABELLA F, MERCADÉ M, DURAN-SINDREU F, ROIG M: Managing severe curvature of radix entomolaris: three-dimensional analysis with cone beam computed tomography. *Int Endod J* 44: 876–885 (2011)
- AMERICAN ASSOCIATION OF ENDODONTISTS AND THE AMERICAN ACADEMY OF ORAL AND MAXILLOFACIAL RADIOLOGY: Use of cone-beam computed tomography in endodontics. Joint Position Statement: *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 111: 234–237 (2011)
- BERNARDES R A, DE MORAES I G, DUARTE M A H, AZEVEDO B C, DE AZEVEDO J R, BRAMANTE C M: Use of cone-beam volumetric tomography in the diagnosis of root fracture. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 108: 270–277 (2009)
- BOFFANO P, RUGA E, GALLESIO C: Keratocystic odontogenic tumor (odontogenic keratocyst): preliminary retrospective review of epidemiologic, clinical, and radiologic features of 261 lesions from University of Turin. *J Oral Maxillofac Surg* 68: 2994–2999 (2010)
- BORNSTEIN M M, LAUBER R, SENDI P, VON ARX T: Comparison of periapical radiography and limited cone beam computed tomography in mandibular molars for analysis of anatomical landmarks prior to apical surgery. *J Endod* 37: 151–157 (2011)
- BORNSTEIN M M, VON ARX T, ALTERMATT H J: Loss of pulp sensitivity and pain as the first symptoms of an Ewing's sarcoma in the right maxillary sinus and alveolar process: report of a case. *J Endod* 34: 1549–1553 (2008)
- BORNSTEIN M M, WASMER J, SENDI P, JANNER S F M, BUSER D, VON ARX T: Characteristics and dimensions of the Schneiderian membrane and apical bone in maxillary molars referred for apical surgery: a comparative radiographic analysis using limited cone beam computed tomography. *J Endod* 38: 51–57 (2012)
- BORNSTEIN M M, WÖLNER-HANSEN A B, SENDI P, VON ARX T: Comparison of intraoral radiography and limited cone beam computed tomography for the assessment of root-fractured permanent teeth. *Dent Traumatol* 25: 571–577 (2009)
- BUENO M R, DE CARVALHOSA A A, CASTRO P H, PEREIRA K C, BORGES F T, ESTRELA C: Mesenchymal chondrosarcoma mimicking apical periodontitis. *J Endod* 34: 1415–1419 (2008)
- BUNDESREGIERUNG BRD: Verordnung zur Änderung der Röntgenverordnung und anderer atomrechtlicher Verordnungen: Röntgenverordnung (2002) http://www.gesetze-im-internet.de/r_v_1987/index.html
- CARTER L, FARMAN A G, GEIST J, SCARFE W C, ANGELOPOULOS C, NAIR M K, HILDEBOLT C F, TYNDALL D, SHROUT M: American Academy of Oral and Maxillofacial Radiology. American Academy of Oral and Maxillofacial Radiology executive opinion statement on performing and interpreting diagnostic cone beam computed tomography. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 106: 561–562 (2008)
- COHENCA N, SIMON J H, MATHUR A, MALFAZ J M: Clinical indications for digital imaging in dento-alveolar trauma. Part 2: root resorption. *Dent Traumatol* 23: 105–113 (2007)

- CVEK M, TSILINGARIDIS G, ANDREASEN J O:** Survival of 534 incisors after intra-alveolar root fracture in patients aged 7–17 years. *Dent Traumatol* 24: 379–387 (2008)
- DURACK C, PATEL S, DAVIES J, WILSON R, MANNOCCI F:** Diagnostic accuracy of small volume cone beam computed tomography and intraoral periapical radiography for the detection of simulated external inflammatory root resorption. *Int Endod J* 44: 136–147 (2011)
- DURACK C, PATEL S:** The use of cone beam computed tomography in the management of dens invaginatus affecting a strategic tooth in a patient affected by hypodontia: a case report. *Int Endod J* 44: 474–483 (2011)
- ESTRELA C, DECURCIO D A, SILVA J A, MENDONÇA E F, ESTRELA C R:** Persistent apical periodontitis associated with a calcifying odontogenic cyst. *Int Endod J* 42: 539–545 (2009)
- FAITARONI L A, BUENO M R, DE CARVALHOSA A A, BRUEHMUELLER ALE K A, ESTRELA C:** Ameloblastoma suggesting large apical periodontitis. *J Endod* 34: 216–219 (2008).
- GIBBS S J:** Effective dose equivalent and effective dose: comparison for common projections in oral and maxillofacial radiology. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 90: 538–545 (2000)
- HARRIS D, HORNER K, GRÖNDAHL K, JACOBS R, HELMROT E, BENIC G I, BORNSTEIN M M, DAWOOD A, QUIRYNEN M:** E.A.O. guidelines for the use of diagnostic imaging in implant dentistry 2011: a consensus workshop organized by the European Association for Osseointegration at the Medical University of Warsaw. *Clin Oral Implants Res* doi: 10.1111/j.1600-0501.2012.02441.x (2012, e-pub ahead of print)
- HASSAN B, METSKA M E, OZOK A R, VAN DER STELT P, WESSELINK P R:** Detection of vertical root fracture in endodontically treated teeth by a cone beam computed tomography scan. *J Endod* 35: 719–722 (2009)
- HIRSCH E, WOLF U, HEINICKE F, SILVA M A:** Dosimetry of the cone beam computed tomography Veraviewepocs 3D compared with the 3D Accuitomo in different fields of view. *Dentomaxillofac Radiol* 37: 268–273 (2008)
- HORNER K, ARMITT G, AND SEDENTEXCT PROJECT MEMBERS:** Radiation protection: cone beam CT for dental and maxillofacial radiology. Evidence based guidelines 2011; v2.0 final (http://www.sedentext.eu/files/guidelines_final.pdf; 2011)
- IOANNIDIS K, LAMBRIANIDIS T, BELTES P, BESI E, MALLIARI M:** Endodontic management and cone-beam computed tomography evaluation of seven maxillary and mandibular molars with single roots and single canals in a patient. *J Endod* 37: 103–109 (2011)
- JANNER S F M, JEGER F B, LUSSI A, BORNSTEIN M M:** Precision of endodontic working length measurements: a pilot investigation comparing cone-beam computed tomography scanning with standard measurement techniques. *J Endod* 37: 1046–1051 (2011)
- JEGER F B, JANNER S F M, BORNSTEIN M M, LUSSI A:** Endodontic working length measurement using preexisting cone beam computed tomography scanning: A prospective, controlled clinical study. *J Endod* 38: 884–888 (2012)
- KHEDMAT S, ROUHI N, DRAGE N, SHOKOUHINEJAD N, NEKOOFAR M H:** Evaluation of three imaging techniques for the detection of vertical root fractures in the absence and presence of gutta-percha root fillings. *Int Endod J* 38: doi: 10.1111/j.1365-2591.2012.02062.x. (2012)
- KOTTOOR J, VELMURUGAN N, SUDHA R, HEMAMALATHI S:** Maxillary first molar with seven root canals diagnosed with cone-beam computed tomography scanning: a case report. *J Endod* 36: 915–921 (2010)
- KUMAR V, GOSSETT L, BLATTNER A, IWASAKI L R, WILLIAMS K, NICKELE J C:** Comparison between cone-beam computed tomography and intraoral digital radiography for assessment of tooth root lesions. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 139: 533–541 (2011)
- LOFTHAG-HANSEN S, HUUMONEN S, GRÖNDAHL K, GRÖNDAHL H G:** Limited cone-beam CT and intraoral radiography for the diagnosis of periapical pathology. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 103: 114–119 (2007)
- LOW K M T, DULA K, BÜRGIN W, VON ARX T:** Comparison of periapical radiography and limited cone-beam tomography in posterior maxillary teeth referred for apical surgery. *J Endod* 34: 557–562 (2008)
- LUDLOW J B, DAVIES-LUDLOW L E, BROOKS S L:** Dosimetry of two extraoral direct digital imaging devices: NewTom cone beam CT and Orthophos Plus DS panoramic unit. *Dentomaxillofac Radiol* 32: 229–234 (2003)
- LUND H, GRÖNDAHL K, HANSEN K, GRÖNDAHL H G:** Apical root resorption during orthodontic treatment. A prospective study using cone beam CT. *Angle Orthod* 82: 480–487 (2012)
- MAH J K, DANFORTH R A, BUMANN A, HATCHER D:** Radiation absorbed in maxillomaxial imaging with a new dental computed tomography device. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 96: 508–513 (2003)
- MICHETTI J, MARET D, MALLET J-P, DIEMER F:** Validation of cone beam computed tomography as a tool to explore root canal anatomy. *J Endod* 36: 1187–1190 (2010)
- MOZZO P, PROCACCI C, TACCONI A, MARTINI P T, ANDREIS I A:** A new volumetric CT machine for dental imaging based on the cone-beam technique: preliminary results. *Eur Radiol* 8: 1558–1564 (1998)
- NEELAKANTAN P, SUBBARAO C, AHUJA R, SUBBARAO C V, GUTMANN J L:** Cone-beam computed tomography study of root and canal morphologies of maxillary first and second molars in an Indian population. *J Endod* 36: 1622–1627 (2010)
- PATEL N, CURRIER G F, KADIOGLU O, KIERL J P, SKAGGS V J:** A CBCT comparison of anterior root resorption in SureSmile and conventional edgewise treatments. *Orthodontics* 13: 100–109 (2012)
- PATEL S, DAWOOD A, WHAITES E, FORD T P:** New dimensions in endodontic imaging: part 1. Conventional and alternative radiographic systems. *Int Endod J* 42: 447–462 (2009)
- PATEL S:** New dimensions in endodontic imaging: part 2. Cone beam computed tomography. *Int Endod J* 42: 463–475 (2009)
- PATEL S, DAWOOD A, WILSON R, HORNER K, MANNOCCI F:** The detection and management of root resorption lesions using intraoral radiography and cone beam computed tomography – an in vivo investigation. *Int Endod J* 42: 831–838 (2009)
- PATEL S, WILSON R, DAWOOD A, MANNOCCI F:** Detection of periapical pathology using intraoral radiography and cone beam computed tomography – a clinical study. *Int Endod J* 44: 1–8 (2011)
- PAUWELS R, BEINSBERGER J, COLLAERT B, THEODORAKOU C, ROGERS J, WALKER A, COCKMARTIN L, BOSMANS H, JACOBS R, BOGAERTS R, HORNER K, THE SEDENTEXCT CONSORTIUM:** Effective dose range for dental cone beam computed tomography scanners. *Eur J Radiol* 44: 267–271 (2012)
- PAUWELS E K, BOURGUIGNON M H:** Radiation dose features and solid cancer induction in pediatric computed tomography. *Med Princ Pract* doi: 10.1159/000337404 (2012)
- PIGG M, LIST T, PETERSSON K, LINDH C, PETERSSON A:** Diagnostic yield of conventional radiographic and cone-beam computed tomographic images in patients with atypical odontalgia. *Int Endod J* 44: 1092–1101 (2011)
- RIGOLONE M, PASQUALINI D, BIANCHI L, BERUTTI E, BIANCHI S D:** Vestibular surgical access to the palatine root of the superior first molar: «low-dose cone-beam» CT analysis of the pathway and its anatomic variations. *J Endod* 29: 773–775 (2003)
- ROSENBERG P A, FRISBIE J, LEE J, LEE K, FROMMER H, KOTTAL S, PHELAN J, LIN L, FISCH G:** Evaluation of pathologists (histopathology) and radiologists (cone beam computed tomography) differentiating radicular cysts from granulomas. *J Endod* 36: 423–428 (2010)
- SCHONFELD S J, LEE C, BERRINGTON DE GONZÁLEZ A:** Medical exposure to radiation and thyroid cancer. *Clin Oncol* 23: 244–250 (2011)
- SCHULZE R, HASSFELD S, SCHULZE D:** Digitale Volumentomographie (DVT). S1-Empfehlung. Leitlinien der DGZMK. http://www.dgzmk.de/uploads/tx_sdzgmk-documents/S1_Empfehlung_Dentale_Volumentomographie.pdf (2009)
- SCHULZE R, HEIL U, GROSS D, BRUELLMANN D D, DRANISCHNIKOV E, SCHWANECKE U, SCHOEMER E:** Artefacts in CBCT: a review. *Dentomaxillofac Radiol* 40: 265–273 (2011)
- SIMON J H, ENCISO R, MALFAZ J M, ROGES R, BAILEY-PERRY M, PATEL A:** Differential diagnosis of large periapical lesions using cone-beam computed tomography measurements and biopsy. *J Endod* 32: 833–837 (2006)
- SUTER V G A, BÜTTNER M, ALTERMATT H J, REICHHART P A, BORNSTEIN M M:** Expansive nasopalatine duct cysts with nasal involvement mimicking apical lesions of endodontic origin: a report of two cases. *J Endod* 37: 1320–1326 (2011)
- TSESIS I, ROSEN E, TAMSE A, TASCHIERI S, Kfir A:** Diagnosis of vertical root fractures in endodontically treated teeth based on clinical and radiographic indices: A systematic review. *J Endod* 36: 1455–1458 (2010)
- VON ARX T, KÄLIN C, HÄNNI S:** Verletzungen der bleibenden Zähne. Teil 1: Diagnostik der Zahnverletzungen. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 115: 133–139 (2005)
- ZHANG R, WANG H, TIAN Y-Y, YU X, HU T, DUMMER P M H:** Use of cone-beam computed tomography to evaluate root and canal morphology of mandibular molars in Chinese individuals. *Int Endod J* 44: 1–10 (2011)
- ZIEGLER C M, WOERTCHE R, BRIEF J, HASSFELD S:** Clinical indications for digital volume tomography in oral and maxillofacial surgery. *Dentomaxillofac Radiol* 31: 126–130 (2002)