

BENJAMIN WEIDMANN^{1,2}
PHILIPP SAHRMANN²
ANDREAS BINDL²
MALGORZATA ROOS³
PATRICK R. SCHMIDLIN²

¹ Privatpraxis, Schaffhausen, Schweiz

² Klinik für Präventivzahnmedizin, Parodontologie und Kariologie, Zentrum für Zahnmedizin, Universität Zürich

³ Abteilung für Biostatistik, ISPM, Universität Zürich, Hirschengraben 84, 8001 Zürich

KORRESPONDENZ

Prof. Dr. Patrick R. Schmidlin
 Klinik für Präventivzahnmedizin, Parodontologie und Kariologie
 Zentrum für Zahnmedizin der Universität Zürich
 Plattenstrasse 11
 8032 Zürich
 Schweiz
 Telefon +41 44 634 32 84
 Fax +41 44 634 43 08
 E-Mail: patrick.schmidlin@zsm.uzh.ch

SWISS DENTAL JOURNAL 124:
 411–415 (2014)
 Zur Veröffentlichung
 angenommen: 6. August 2013

Volumetomographische Bestimmung der Tiefe artifiziell präparierter Taschen mit einem radioopaken Material

Eine *in vitro*-Machbarkeitsstudie

SCHLÜSSELWÖRTER

Radiologie,
 Diagnostik,
 Parodontitis,
 Kontrastmittel,
 Laborstudie

ZUSAMMENFASSUNG

Parodontale Gewebe werden klassischerweise mit einer graduierten Parodontalsonde und Röntgenbildern beurteilt. Mit der digitalen Volumetomographie findet mehr und mehr die dritte Dimension Einzug in den bildgebenden Bereich und bietet für die Darstellung komplexer anatomischer Gegebenheiten Vorteile. Die vorliegende Pilotstudie zeigt und validiert die Möglichkeit, sowohl die Hart- wie auch die Weichgewebe radiologisch darzustellen und zu vermessen. Dazu wurden artifizielle Taschen am Schweineunterkiefer präpariert, mit einer graduierten Parodontalsonde vermessen und mit einem Kontrastmittel gefüllt. Von den derart präpa-

rierten Schweineunterkiefen wurden anschließend ein digitales Volumetomogramm (dVT) angefertigt und die klinischen Sondierungstiefen mit den im dVT gemessenen Taschentiefen verglichen. Die Streuung, ausgedrückt als Standardabweichung, betrug mesial $\pm 0,751$ mm, bukkal/oral $\pm 0,985$ mm und distal $\pm 0,740$ mm. Es zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den zwei Messmethoden bezüglich Taschentiefen unter der Annahme, dass von einem Messfehler von 1 mm ausgegangen wird. Damit ist unter *In-vitro*-Bedingungen eine Messung artifiziell erzeugter Taschen mit einem Kontrastmittel im dVT möglich.

Einleitung

Der Vermessung und Beurteilung der parodontalen Weich- und Hartgewebe wird im Rahmen der Diagnostik sowie bei der Planung und Verlaufskontrolle der entsprechenden Therapiemöglichkeiten eine wichtige Bedeutung zugeschrieben (WINDISCH ET AL. 2007).

Die klassische Methode besteht in der genauen klinischen Messung mit einer graduierten Parodontalsonde, wobei als häufigste klinische Parameter die Taschentiefe, Rezessionen (Abstand des Margo Gingivae zur Schmelz-Zement-Grenze) und der daraus ermittelbare Attachmentverlust bestimmt werden.

Die Parodontalsonde wurde bereits 1925 von Simonton erstmals beschrieben und stellt immer noch das wichtigste und einfachste Instrument für diese klinische Untersuchung dar (SCHMIDLIN 2011). Die Aussagekraft der Messung hängt von ver-

schiedenen Faktoren ab, zum Beispiel der Sondengeometrie, der Sondierungskraft und -richtung. Dabei wird die Penetration der Sondenspitze zusätzlich durch biologische Faktoren, zum Beispiel durch den Entzündungsgrad der Gewebe beeinflusst. Dabei entspricht das klinische Attachmentniveau nicht zwingend dem histologischen (VAN DER VELDEN & JANSEN 1980, CATON ET AL. 1981). Verschiedene automatisierte Sonden wurden auf dem Markt eingeführt, um die Genauigkeit der Messungen zu verbessern und die Messergebnisse reproduzierbar zu machen. Beispiele sind unter anderem die sogenannte Florida-Probe (GIBBS ET AL. 1988), die Toronto-Probe (BIREK ET AL. 1987), mit welchen mittels Computerunterstützung mehrere Parameter wie Sondierungstiefe und Rezession gleichzeitig erhoben werden können. Diese Instrumente eignen sich insbesondere für (longitudinale) Studien, da die Messwerte mit einer

Genauigkeit von 0,2 mm angegeben werden. Allerdings haben diese Geräte auch Nachteile: Wegen der erhöhten Kosten und der notwendigen Computerunterstützung sind sie für den Routineeinsatz in der täglichen Praxis weniger geeignet (PIHLSTROM 1992).

Röntgenbilder stellen eine gute Ergänzung zur genannten klinischen Diagnostik mit einer Sonde dar. Sie dienen vor allem dazu, die knöchernen Komponente des Zahnhalteapparates und den Grad des marginalen Knochenverlustes zu bestimmen. Konventionelle Röntgenbilder erlauben dies nur in zweidimensionaler Richtung, und eine akkurate Projektion ist nötig

(Paralleltechnik), um eine Verzerrung der Geometrie zu vermeiden. Generell sind Röntgenbilder durch den Nachteil einer geringen Sensitivität und den Vorteil einer hohen Spezifität gekennzeichnet. Vor allem nicht standardisierte Röntgenbilder tendieren dazu, den Knochenabbau zu unterschätzen. Ein Verlust von 30–50% des mineralisierten Gewebes ist notwendig, um den Knochenabbau zu erkennen (JEFFCOAT 1992).

Die dentale Röntgentechnologie hat gerade im Bereich der digitalen Volumentomographie (dVT) in den letzten Jahren grosse Fortschritte gemacht. Mit dieser neuen Technologie findet die dritte Dimension Einzug in den bildgebenden Bereich,

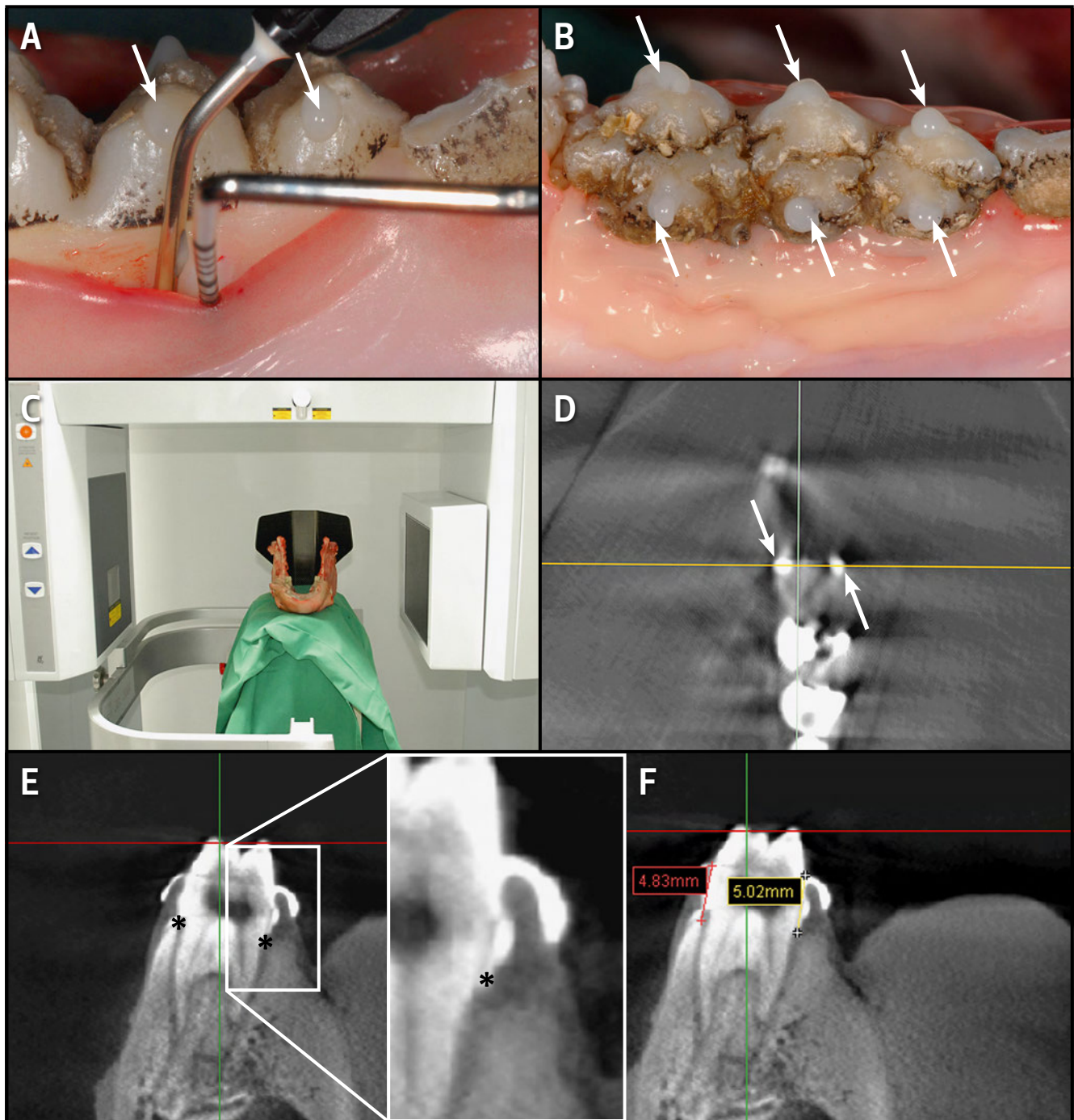


Abb. 1 Nach artifizierter Taschenbildung mittels Skalpell und Anbringen der Komposit-Referenzen (Pfeile) wurde das fließfähige Komposit mit einer stumpfen Kanüle eingebracht (A) und anschliessend sofort gehärtet. Überschüssiges Material diente zur Darstellung der marginalen Aussenkontur der freien Gingiva (B). Vom Kiefer wurde dann ein digitales Volumentomogramm hergestellt (C), eine Referenzlinie durch die Markierungspaare gelegt (D) und die Taschentiefe digital bestimmt (E/F; das Sternsymbol stellt den Taschenfundus dar).

wodurch neue diagnostische Möglichkeiten eröffnet werden. Grundsätzlich ist es mit dem dVT möglich, eine dreidimensionale Darstellung und Beurteilung von parodontalen Defekten zu erreichen. Da über den Datensatz von nur einer Aufnahme das gesamte Defektvolumen ausgewertet werden kann, ist ein dVT bei der Gesamtplanung gerade von schweren, generalisierten Parodontitisfällen vorteilhaft. Vor allem bei komplexen anatomischen Gegebenheiten kann in Kombination mit dem klinischen Befund eine zuverlässigere Einzelzahnprognose und Therapieplanung erstellt werden (WALTER ET AL. 2009, WALTER ET AL. 2012).

Eine Fragestellung, die ständig an Wichtigkeit gewinnt, ist neben der Visualisierung der parodontalen Knochendefekte auch die Darstellung und Quantifizierung der gingivalen Weichgewebemorphologie. Dicke und Volumen der Gingiva sind aus funktionellen und ästhetischen Gründen von diagnostischer und therapeutischer Bedeutung (RONAY ET AL. 2011). Eine gleichzeitige optische Überlagerung der Oberflächenmorphologie mit dem Taschenbefund wäre zukünftig sicherlich erstrebenswert (NKENKE ET AL. 2007).

Ziel der vorliegenden Pilotstudie war es, die prinzipielle Durchführbarkeit und Genauigkeit einer optischen Vermessung von Taschen unter Nutzung der digitalen Volumentomographie im Sinne einer Machbarkeitsstudie im Labor zu testen. Dabei wurde ein radioopakes Material (fliessfähiges lighthärtendes Komposit), das in künstlich präparierte Taschen eingebracht wurde, im dVT vermessen und mit klinisch erhobenen Werten verglichen. Der Studie lag die Hypothese zugrunde, dass der Taschenfundus durch dieses Material visualisiert werden kann und die Messungen zu vergleichbaren Werten wie bei der klinischen Sondierung führen.

Material und Methoden

Die Studie wurde an sechs frischen Schweineunterkiefern durchgeführt (Abb.1).

Zur Simulation von parodontalen Läsionen wurden zuerst mit einem Skalpell (Einmalskalpell, Martin, Solingen, Deutschland) an den ersten Molaren beider Unterkieferquadranten künstliche parodontale Taschen präpariert. Das Skalpell wurde hierfür parallel zum Zahn intrasulkulär bis zum Knochenkontakt geführt.

Als Referenz zur Stellenidentifikation klinisch und radiologisch wurde an sechs Stellen pro Zahn (auf der Bukkal- und Oralseite jeweils mesial, bukkal/oral und distal) mit einem röntgenopaken fliessfähigen Komposit (Teric Flow, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) eine punktförmige Markierung auf dem Kronenschmelz angebracht und lighthärtet (Bluephase, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein).

Anschliessend wurden dann an insgesamt 72 Stellen folgende Messungen durchgeführt:

Zuerst wurde die künstlich geschaffene Taschentiefe mit einer durch 3-mm-Markierungen graduierten Parodontalsonde (CP 12, Deppeler, Rolle, Schweiz) mit einem Sondendruck von 0.2 N ausgemessen und dokumentiert. Dabei wurde auf den nächsten Millimeter aufgerundet. Diese Messung wurde von zwei unabhängigen Untersuchern durchgeführt. Die Resultate wurden verglichen und Werte, welche um mehr als einen Millimeter voneinander abwichen, wurden nachgemessen und diskutiert.

Anschliessend wurde als «Kontrastmittel» das zuvor für die Markierungen verwendete, fliessfähige Kompositmaterial vorsichtig in die Tasche eingebracht. Grobe Überschüsse wurden vorsichtig entfernt und das Material mit einer Polymerisations-

lampe für 15 Sekunden gehärtet. Dadurch wurde ein Ausfliessen und Ausdünnen des Materials aus dem Sulkus verhindert und gleichzeitig die Aussenkontur der Weichgewebe auf der marginalen befestigten Schleimhaut dargestellt. Danach wurde ein digitales Volumentomogramm (Orthophos XG 3D, Sirona, Bensheim, Deutschland) je Quadrant angefertigt und die Dicomdateien wie folgt ausgewertet (Simplant®, Materialise Dental, Gilching, Deutschland): Zuerst wurde eine Referenzlinie bukkal-oral durch die jeweils mesialen, distalen und bukkal-lingualen Paare der Kompositmarkierungen gelegt. Die Taschentiefen an den entsprechenden Stellen wurden mit der Software bestimmt. Auch diese Messungen wurden unabhängig von zwei Untersuchern durchgeführt, die gegenüber den klinischen Messungen und den Ergebnissen verblindet waren.

Statistische Methoden

Eine Poweranalyse wurde mit dem Programm nQuery Advisor 6.0 durchgeführt. Bei einer geschätzten Nachweisbarkeit einer minimalen Differenz von 1 mm würde unter der Annahme, dass die Standardabweichung von Differenzen 0,985 mm beträgt, eine Stichprobengrösse von 21 bei einem gepaarten t-Test mit zweiseitigem Signifikanzniveau von 0.05 eine Power von 99% liefern.

Die Daten wurden in Excel codiert und mit SPSS Version 19 analysiert. Die Annahme der Normalverteilung wurde mittels Kolmogorov-Smirnov-Test und Shapiro-Wilk-Test überprüft. Sowohl die parametrischen (Mittelwert und Standardabweichung) als auch die nichtparametrischen/robusten (Median und Interquartilbereich) deskriptiven Statistiken wurden berechnet. Für die grafische Darstellung der Daten wurden robuste Boxplots verwendet. Die gepaarten nichtparametrischen Wilcoxon- und Vorzeichenstests zwischen dem dVT und der klinischen Messung wurden für jede der drei Gruppen (mesial, oral/bukkal und distal) separat berechnet. Die Ergebnisse der statistischen Analyse mit einem p-Wert <0.05 wurden als statistisch signifikant interpretiert.

Resultate

Die Resultate der Differenz zwischen klinischer (Sondierungstiefe mit Sonde) und radiologischer Messung (dVT) an den drei Evaluationsstellen sind in Abbildung 2 dargestellt.

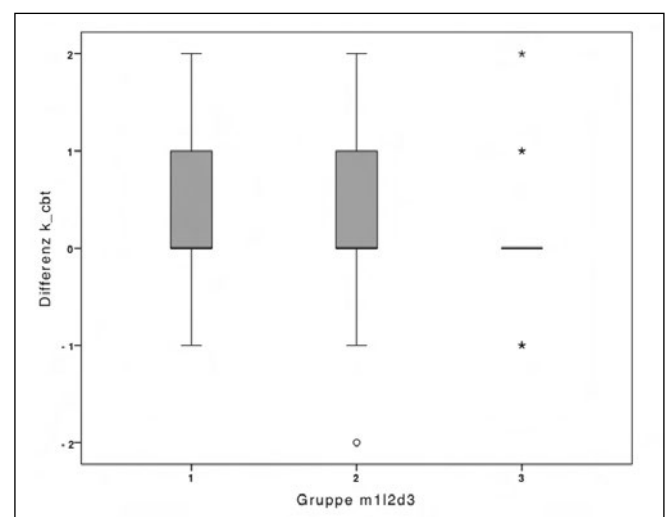


Abb. 2 Resultate der Differenz aus klinischer und radiologischer Messung (Bei allen Gruppen liegen die Mediane bei 0 und die Interquartilbereiche bei 1).

Die Differenzen zwischen den klinischen Messungen und den Resultaten der dVT-Analyse ergaben die grösste Standardabweichung bei den bukkal/oral gelegenen Messungen mit Maximalwerten von 0,985 mm und lagen somit unter der Annahme und Forderung eines Messfehlers von maximal 1 mm.

Die Standardabweichungen der drei Gruppen betragen $\pm 0,751$ mm (mesial), $\pm 0,985$ mm (bukkal/oral) und $\pm 0,740$ mm (distal), wobei die hier verwendete Mindeststichprobengrösse von 21 bei einem gepaarten t-Test mit dem zweiseitigen Signifikanzniveau von 0.05 eine Power von 99% lieferte.

In jeder der drei Stellen wurden die klinische Messung (Sondierungstiefe mit Sonde) und die radiologische Messung (dVT) miteinander verglichen, wobei sich dabei keine signifikanten Unterschiede innerhalb der Gruppen zeigten. Sowohl der Kolmogorov-Smirnov- als auch der Shapiro-Wilk-Test haben auf eine Verletzung der Annahme der Normalverteilung hingewiesen ($p < 0.001$). Deshalb wurden die Daten mit robusten Verfahren analysiert. Der gepaarte nichtparametrische Wilcoxon-Test in den drei Messstellen (mesial, bukkal/oral und distal) ergab folgende Resultate für die Asymptotische Signifikanz (2-seitig): 0.071, 0.116, 0.763. Der gepaarte nichtparametrische Vorzeichen-Test an den drei Messstellen ergab folgende Resultate für die Exakte Signifikanz (2-seitig): 0.146, 0.180, 0.727. Insgesamt neigte die Differenzbildung zu positiven Werten (nicht statistisch signifikant), was bedeutet, dass die klinische Messung leicht höhere Werte erzielte als die radiologische Bestimmung.

Diskussion

Die vorliegende Untersuchung hatte zum Ziel, die prinzipielle Durchführbarkeit und Genauigkeit einer optischen Vermessung von Taschen mittels digitaler Volumentomographie zu evaluieren. Im Rahmen dieser Machbarkeitsstudie konnte gezeigt werden, dass mit einer digitalen Vermessung von Taschen, welche durch die Verwendung eines radioopaken Materials sichtbar ge-

macht wurden, Werte ermittelt werden konnten, die mit der klinischen Messung vergleichbar sind.

Allerdings muss festgehalten werden, dass in der vorliegenden Studie nicht parodontale Taschen, sondern artifiziell erzeugte Weichgewebsdefekte vermessen wurden, die sich von der klinischen Realität hinsichtlich des Gewebeturgors und der internen Weichteiloberfläche und -verbindung unterscheiden können. Zudem wurden diese artifiziellen Läsionen an einem Schweinepräparat präpariert. Unter klinischen Verhältnissen ist davon auszugehen, dass es sich bei Taschen nicht um einen Hohlraum resp. Spaltlappen, sondern um einen mit Exsudat und/oder Blut/Pus gefüllten, mit Zellen angereicherten Raum handelt, was die Penetration und Lagestabilität eines eingebrachten Mediums möglicherweise erschweren könnte. Ob *in situ* durch eine Aushärtung oder durch eine extrasukkuläre marginale Materialstabilisierung, welche das weitere Ausfliessen verhindern soll, eine entsprechende Bildgebung immer noch möglich ist, bleibt *in vivo* noch nachzuweisen (Abb. 3). Weiterhin ist fraglich, inwieweit Defekte (zum Beispiel vertikale Knocheneinbrüche oder Furkationen), welche mit Granulationsgewebe gefüllt sind (RONAY ET AL. 2013), der Verdrängung durch ein entsprechendes Material nicht zu viel Widerstand leisten, um eine adäquate Abbildung und Lesbarkeit der Defekte dieser Areale zu garantieren.

Innerhalb der Limitationen des gewählten Studiendesigns konnte dennoch die Hypothese, dass durch ein entsprechendes Verfahren eine messbare Darstellung der Tasche, die der klinischen Messung entspricht, möglich sei, bestätigt werden.

Wir haben für diesen Versuch ein fließfähiges Komposit verwendet, da das Material über eine nachgewiesene hohe Opazität verfügt, sich einfach manipulieren und einbringen lässt und sich durch eine schnelle Polymerisation stabilisieren lässt. Alternativ käme hierfür auch die Verwendung dualhärtender Materialien infrage, welche den Vorteil einer Aushärtung in tieferen Bereichen, die für das Polymerisationslicht nicht

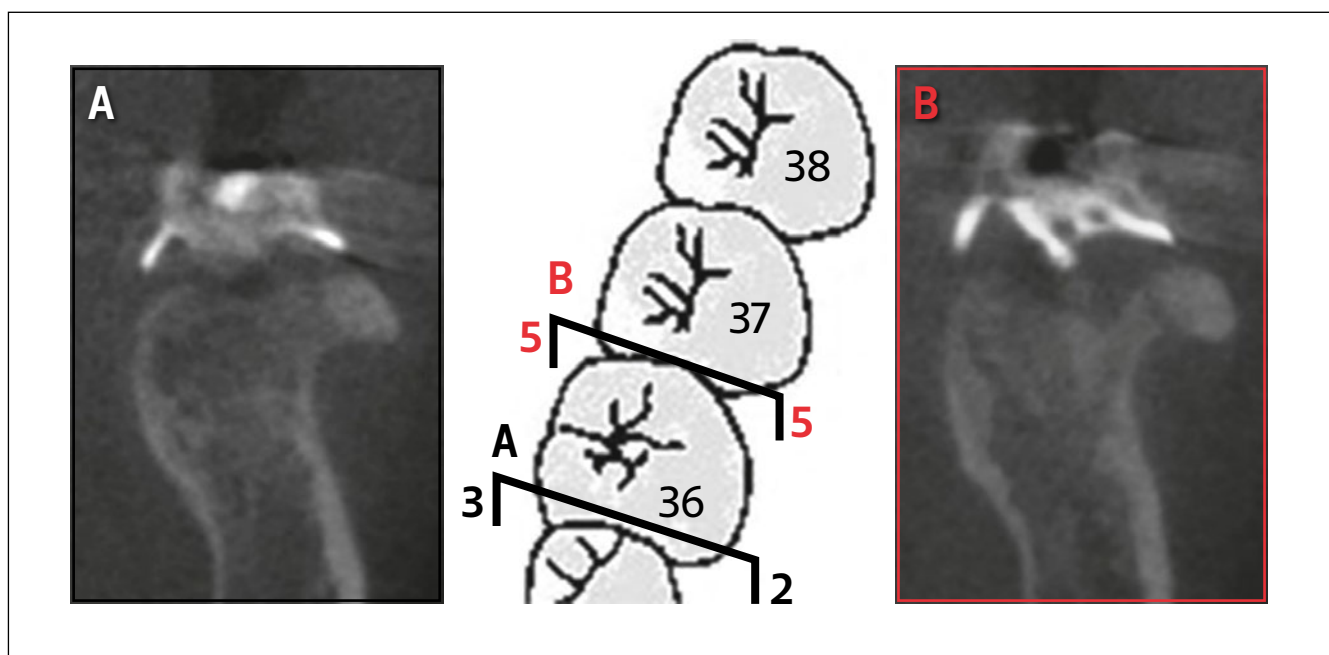


Abb. 3 Radiologisches Beispiel einer Patientin, die ein dVT zur Weisheitszahnabklärung vor Extraktion machen musste und einwilligte, in der benachbarten Region die Methode beim Vorhandensein seichter Taschen anwenden zu lassen (informed consent). Bei «gesunden» Verhältnissen ist weniger Material in den Taschen nachweisbar (A), hingegen zeichnen sich die marginalen Weichgewebe gut ab. Bei den Taschen interdental 36/37 wurden diese sowie der Col-Bereich abgebildet (B, lingual ist jeweils ein Torus mandibularis erkennbar).

zugänglich sind, aufwiesen. Gegen dieses Vorgehen spricht neben der möglichen Toxizität gewisser Matrixkomponenten (SCHWEIKL ET AL. 2007, GUPTA ET AL. 2012) vor allem in nichtpolymerisiertem Zustand die Gefahr eines Belassens von Resten in Unterschnitten oder nachträglich schwer reinigbaren und spülbaren Arealen. Eine weitere Alternative könnte die Verwendung von biokompatiblen Röntgenkontrastmitteln sein, welche mit Substanzen gemischt werden, die sich in flüssiger Form ebenso leicht in die Taschen einbringen lassen und sich dort unter Körpertemperatur verfestigen. Entsprechende Vorversuche waren in beiderlei Hinsicht (Röntgenopazität und Härtung) vielversprechend, liessen sich aber in vitro im Rahmen des geplanten Versuchsaufbaus wegen der Feuchtigkeits- und Temperaturkontrolle nicht umsetzen.

Die Problematik der dVT-spezifischen Bildung von Abtast- und Aufhärungsartefakten, wie sie an den Grenzflächen unterschiedlich dichter Substanzen (Komposit und umliegenden organischen Geweben) und der Aufteilung der generierten Daten in Voxel auftreten, muss bei der Interpretation der Taschentiefenwerte und deren Standardabweichungen zusätzlich berücksichtigt werden (SCHULZE ET AL. 2011). Bei der Suche nach klinisch einsetzbaren, biokompatiblen Kontrastmitteln sollte daher ein Hauptaugenmerk auf der Minimierung der Aufhär-

tungsartefakte durch die Einstellung einer adäquaten Dichte berücksichtigt werden.

In Zukunft wird der Einsatz bildgebender Verfahren, eventuell in Kombination mit CAD/CAM-Technologie im Rahmen der Diagnostik und des Monitorings, einen wichtigen Stellenwert in der Forschung und Entwicklung diagnostischer Möglichkeiten einnehmen (STREBEL ET AL. 2009, RONAY ET AL. 2011). Inwieweit eine entsprechende Strahlenbelastung unter Anwendung eines Kontrastmittels für die parodontale Diagnostik ethisch vertretbar ist, muss kritisch und fallspezifisch diskutiert werden. Es muss festgehalten werden, dass auch die Auswertung eines 2-D-Einzelbildes in der dritten Dimension viele wertvolle Informationen enthält, die in ihrer Präzision noch immer von keiner DVT-Aufnahme heute übertroffen wird.

Auf Basis der vorliegenden Ergebnisse erscheint es dennoch durchaus möglich, dass es mit der vorgestellten Grundidee, nämlich mit röntgenopakem Materialien Taschen und Weichgewebe zu visualisieren, in Zukunft möglich wird, automatisiert parodontale Befunde aufzunehmen und die Diagnose und Planung komplexer Fälle zu erleichtern. Bis dahin sind allerdings weitere materialspezifische und technische Fragen zu klären und die Methode unter klinischen Bedingungen zu validieren.