

Indications for Digital Volume Tomography in Orthodontics

Einsatzmöglichkeiten der digitalen Volumentomographie in der kieferorthopädischen Diagnostik

Eva Müssig¹, René Wörtche², Christopher J. Lux¹

Abstract

Disturbances in tooth eruption and tooth impactions make great demands on radiographic diagnostics. There is often need for radiographic images in various projections to assess the exact position of unerupted and impacted teeth. Digital volume tomography (DVT) is a method for localizing hard tissue structures such as bone and teeth on various planes. Moreover, it makes a three-dimensional image of the teeth, jaws and the viscerocranium possible.

From an orthodontic point of view, digital volume tomography is indicated to detect impacted and ectopic teeth and to demonstrate the amount of bone available for orthodontic tooth movement. In patients with cleft lip and palate, DVT can be used to visualize the size of the alveolar cleft and to evaluate the position and development of multiple teeth, as these patients often suffer from disturbances in tooth eruption.

Key Words: Digital volume tomography · 3D-imaging · Radiographic diagnostics · Ectopic teeth

Introduction

Radiographic imaging techniques are important in orthodontic radiographic diagnostics not only for growth analyses, but especially in cases of complex disturbances of tooth eruption and impacted teeth, where exact localization of the teeth and visualization of surrounding bone is essential. Panoramic radiographs, cephalograms and periapical radiographs are routinely used as diagnostic tools. Radiographic

Zusammenfassung

Im Rahmen von Zahndurchbruchstörungen und Zahnverlagerungen werden in der Kieferorthopädie hohe Anforderungen an die Röntgendiagnostik gestellt, wobei häufig Aufnahmen in verschiedenen Ebenen notwendig werden, um die genaue Lage von retinierten und verlagerten Zähnen beurteilen zu können. Die digitale Volumentomographie (DVT) stellt hierbei ein Verfahren dar, das die Lokalisation von Hartgewebsstrukturen wie Knochen und Zähnen in beliebigen Ebenen zulässt. Darüber hinaus ist eine dreidimensionale Darstellung der Zähne, der Kiefer und des gesamten Gesichtsschädels möglich.

Aus kieferorthopädischer Sicht umfasst das Indikationsspektrum der digitalen Volumentomographie insbesondere die Lokalisation impaktierter und verlagelter Zähne sowie die Darstellung des Knochenangebots im Hinblick auf die Durchführung kieferorthopädischer Bewegungen einzelner Zähne und Zahngruppen. Deshalb kann die DVT gerade auch bei Patienten mit Lippen-Kiefer-Gaumen-Spalten Anwendung finden, um das Ausmaß der Kieferspalte zu visualisieren und um Lage und Anlage einzelner Zähne zu beurteilen, da diese Patienten besonders häufig von Zahndurchbruchstörungen betroffen sind.

Schlüsselwörter: Digitale Volumentomographie · 3D-Bildgebung · Röntgendiagnostik · Zahnverlagerung

Einleitung

Neben Wachstumsanalysen des Gesichtsschädels steht in der kieferorthopädischen Röntgendiagnostik die Bildgebung bei komplexen Zahndurchbruchstörungen und Zahnverlagerungen im Vordergrund. Die genaue Lokalisation der einzelnen Zahnanlagen sowie die Darstellung des umgebenden Knochens sind dabei unumgänglich. In der Routinediagnostik werden dafür das Orthopantomogramm (OPG), das Fernröntgenseitenbild (FRS) sowie die Zahnfilmaufnahme zur detaillierten Darstellung einzelner Strukturen verwendet.

¹Department of Orthodontics,

²Department of Cranio-Maxillofacial Surgery, University of Heidelberg.

Received: December 1, 2004; accepted: February 28, 2005

occlusal views provide further information by adding the third dimension. This is not possible with orthoradial projection in periapical radiographs, nor with standard panoramic views [31]. If the radiation beam's angle is slanted, the object of investigation, e. g. an impacted upper canine, is distorted and is not rendered in its true position. This can lead to misdiagnoses and faulty treatment [31]. Compared to palatally-impacted canines, the meaningfulness of radiographic occlusal views can also be limited in cases of buccally-impacted canines [26]. Often, two-dimensional views of panoramic radiographs, cephalograms, periapical radiographs and occlusal views provide only limited information about pathological processes. In cases when impacted teeth require treatment, three-dimensional imaging can sometimes be a very helpful diagnostic tool.

There are several methods to demonstrate dental and bony structures of the viscerocranium in various planes, e.g. digital transversal slice imaging as a program supplementing pantomographic devices [6], computed tomography (CT) [1, 19, 21, 25] and digital volume tomography (DVT) [1, 17, 23, 25, 28, 33]. In addition to diagnostic imaging in various projections, CT and DVT present three-dimensional reconstructions of the whole viscerocranium. The cone-beam-technique of DVT can prevent projective overlying effects and distortions, as can happen with panoramic radiographs and cephalograms [25]. The high resolution computed tomography (HR-CT) technique, which must be distinguished from DVT, permits the identification and the quantitative evaluation of bone dehiscences and thin cortical bone plates covering the vestibular and lingual root surfaces, and it permits the assessment of the periradicular bone level of individual incisors and of the attachment level without overlying structures [8, 10–12]. Moreover, the technique is suitable in the diagnosis of asymmetric facial disharmonies and for cases involving combined orthodontic-surgical treatment planning [7]. When considering the exposure to radiation using computed tomography, which is higher than with conventional radiographic techniques, the application in orthodontics is therefore limited, and a risk-benefit analysis is necessary [21]. DVT is becoming more and more important in orthodontics due to the fact that it offers less radiation exposure.

Digital Volume Tomography (DVT)

Since 2000, the digital volume tomograph New TOM QR-DVT 9000 (New Tom, Marburg, Germany) is used at the University of Heidelberg. It is composed of a gantry, the unit of measurement with a ring-shaped opening, a table and a workstation. The unit consists of an X-ray tube that can rotate 360°. It operates in the "medium-penetrating" range of radiation employing an 0.7 mm aluminium filter and an angle of beam spread of 14° in cone-beam-technique. For collecting raw data, the X-ray tube and the amplifier rotate 360° around the table, and static images are acquired at intervals of one degree. During one scan, an axially sym-

Die Aufbissaufnahme erschließt intraoral die diagnostisch wichtige dritte Dimension, die weder durch den orthoradialen Strahlengang bei Zahnaufnahmen noch durch Standardorthopantomographien dargestellt werden kann [31]. Bei schrägem Strahleneinfall werden jedoch die zu untersuchenden Objekte, wie z. B. ein retinierter oberer Eckzahn, verzeichnet und nicht in ihrer wirklichen Lagebeziehung wiedergegeben, was zu Fehldiagnosen und Irrtümern beim therapeutischen Vorgehen führen kann [31]. Auch kann die Aussagekraft von Aufbissaufnahmen bei vestibulär verlagerten Eckzähnen im Gegensatz zur Diagnostik von palatinal verlagerten Eckzähnen limitiert sein [26]. Die nur zweidimensionale Darstellungsmöglichkeit von OPG, FRS, Zahnfilm und Aufbissaufnahme liefert oft nur begrenzte Informationen über pathologische Veränderungen. Gerade bei Fragestellungen, bei denen die Möglichkeit der Einordnung verlagelter Zähne diskutiert werden muss, ist eine dreidimensionale Bildgebung zur Planung der therapeutischen Maßnahmen in manchen Fällen sehr hilfreich.

Zur Darstellung der dentalen und knöchernen Strukturen des Gesichtsschädels in unterschiedlichen Ebenen stehen mehrere Verfahren zur Verfügung wie z. B. digitale transversale Schichtaufnahmen als Zusatzprogramme der Panoramaschichtgeräte [6], die Computertomographie (CT) [1, 19, 21, 25] sowie die digitale Volumentomographie (DVT) [3, 17, 23, 25, 28, 33]. Die CT und die DVT erlauben neben der Bildgebung in mehreren Schichten eine dreidimensionale Rekonstruktion des gesamten Gesichtsschädels. Die Cone-Beam-Technik der DVT erlaubt es, die im OPG und FRS projektionsbedingt auftretenden Überlagerungen und Verzerrungen zu vermeiden [25]. Die von der DVT zu unterscheidende hochauflösende CT-Technik (HR-CT) ermöglicht die Identifikation von Knochendehiszenzen und die überlagerungsfreie quantitative Bewertung der kortikospongiösen Knochenauflagerung über den vestibulären und lingualen Zahnwurzeloberflächen, des periradikulären Knochenniveaus einzelner Frontzähne, und erlaubt eine verbesserte Beurteilung des Attachmentniveaus [8, 10–12]. Darüber hinaus eignet sie sich zur Diagnostik asymmetrischer skelettaler Dysgnathien bzw. zur Planung von kombiniert kieferorthopädisch-kieferchirurgischen Eingriffen [7]. Aufgrund der jedoch gegenüber konventionellen radiologischen Verfahren erhöhten Strahlenbelastung der CT ist ihr Einsatz bei kieferorthopädischen Fragestellungen eingeschränkt und erfordert eine sorgfältige Nutzen-Risiko-Abwägung [21]. Dagegen gewinnt die DVT in der Kieferorthopädie vor dem Hintergrund der reduzierten Strahlenbelastung für kieferorthopädische Fragestellungen zunehmend an Bedeutung.

Digitale Volumentomographie (DVT)

An der Universität Heidelberg wird seit 2000 der digitale Volumentomograph New Tom QR-DVT 9000 (New Tom, Marburg, Deutschland) eingesetzt. Er setzt sich aus einer Gantry, d. h. der Aufnahmeeinheit mit ringförmiger Öff-

metric volume of 10 cm in height and 12 cm in diameter is acquired over a period of 76 sec [16] (Figure 1). Based on a prescan, all 360 sagittal slices are reconstructed with the smart-beam-technique at the lowest exposure dose. Total exposure time is about 18 sec, with a mean radiation dose of 6 mSv per image [16, 28]. In addition to the primary reconstruction of raw data, the axial slice thickness (0.3; 1.0; 3.0 mm) and the angle of reconstruction must be determined. Further secondary reconstructions are calculated based on the axial slices of the primary reconstruction. The

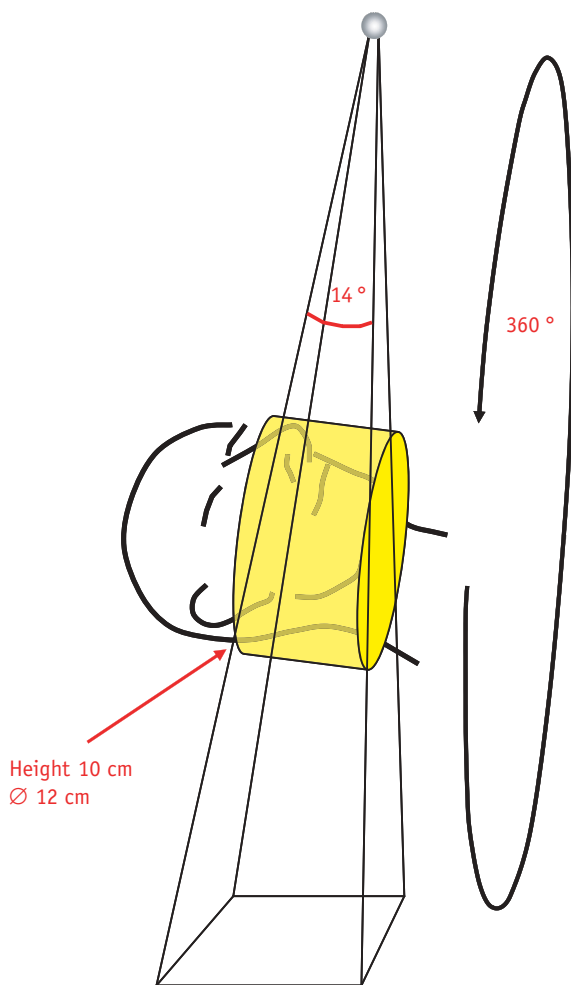


Figure 1. Cone-beam-technique (modified after Hirsch et al. [18]): The X-ray tube and the amplifier rotate 360° around the table, and in intervals of one degree static images are acquired. During one scan an axially symmetric volume of 10 cm in height and 12 cm in diameter is acquired over a period of 76 sec.

Abbildung 1. Cone-Beam-Technik (modifiziert nach Hirsch et al. [18]): Röntgenröhre und Bildverstärker rotieren um 360° um den Patienten, wobei im Abstand von einem Winkelgrad ein Einzelschnittbild erstellt wird. Bei einem einmaligen Umlauf wird in einem Zeitraum von 76 sec ein rotationssymmetrisches Volumen von 10 cm Höhe und 12 cm Durchmesser erfasst.

nung, einer Patientenliege sowie einer Workstation zusammen. Das Gerät besitzt eine um 360° rotierbare Röntgenröhre, die im Bereich der mittelharten Röntgenstrahlung bei einer Filterung von 0,7 mm Aluminium mit einem konstanten Öffnungswinkel von 14° in Cone-Beam-Technik arbeitet. Bei der Erstellung des Rohdatensatzes rotieren Röntgenröhre und Bildverstärker 360° um die stationäre Patientenliege, wobei im Abstand von einem Winkelgrad ein Einzelschnittbild erstellt wird. Bei einem einmaligen Umlauf wird in einem Zeitraum von 76 s ein rotationssymmetrisches Volumen mit einer Höhe von 10 cm und einem Durchmesser von 12 cm erfasst [16] (Abbildung 1). Ausgehend von einem Prescan werden alle 360 sagittalen Schnittbilder mit der Smart-Beam-Technik einzeln in der niedrigstmöglichen Aufnahmedosis neu berechnet. Die gesamte Expositionszeit beträgt etwa 18 s bei einer durchschnittlichen Strahlendosis von 6 mSv pro Aufnahme [16, 28]. Zur Primärrekonstruktion des Rohdatensatzes werden nach der Aufnahme die Schichtdicke der zu rekonstruierenden axialen Schichten (0,3; 1,0; 3,0 mm) und der Rekonstruktionswinkel festgelegt. Aus den Axialschichten der primären Rekonstruktion werden weitere sekundäre Rekonstruktionen errechnet. Die Sekundärrekonstruktionen können sagittale, koronale, paraaxiale sowie 3D-Rekonstruktionen darstellen [16, 35].

Strahlenbelastung

Die Mehrzahl der dosimetrischen Studien zur zahnärztlichen Röntgendiagnostik beruht auf Messungen an Alderson-Rando-Phantomen (Rando: radiation analog dosimetry) [30]. Das Alderson-Rando-Phantom besteht aus einem menschlichen Skelett, das in eine Isocyanid-Gummimasse zur Nachbildung der Weichgewebe eingebettet ist. Bei diesem geometrischen Phantom können die zur Dosismessung notwendigen Thermolumineszenzdosimeter an verschiedenen Stellen des Kopfes platziert werden. Seltener wird ein anthropomorphes Dosimetriephantom, wie es z. B. von Visser entwickelt wurde, herangezogen. Bei diesem Phantom sind die anatomischen Strukturen und Organe des Kopfes nachgebildet, und es besteht aus gewebeäquivalenten synthetischen Materialien, sodass die Dosismessungen mit Dosimetern an den speziellen Risikoorganen des Kopfes durchgeführt werden [30]. Für Vergleichszwecke zur Einschätzung der Strahlenbelastung wurde der Begriff der effektiven Dosis von der internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP 60) eingeführt, der in Sievert angegeben wird [29].

In der Literatur wird die Strahlenbelastung eines digitalen Volumentomogramms (DVT) unter der eines Computertomogramms (CT) angegeben. Mozzo et al. [28] verglichen die Strahlenbelastung eines DVT mit der eines CT (Somatom Plus 4, Siemens, Erlangen, Deutschland) und fanden beim DVT eine bis zu sechsmal geringere Strahlendosis als beim CT. In einer Studie von Cohnen et al. [3] war die effektive Strahlendosis gegenüber einem dentalen CT um das Fünffache reduziert, lag allerdings nur 35% unter der ei-

secondary reconstructions can be sagittal, coronal, para-axial and 3D-reconstructions [16, 35].

Radiation Exposure

Most of the dosimetric studies in dental radiographic diagnostics rely on measurements using an Alderson-Rando-Phantom (Rando: radiation analog dosimetry) [30]. The Alderson-Rando-Phantom consists of a human skeleton in a compound of isocyanid simulating soft tissue. In this geometrical phantom, one can place the thermoluminescence dosimeters, which are necessary to quantify the radiation dose at several locations on the head. The anthropomorphic dosimetric phantom developed by Visser is rarely used. That phantom represents anatomical structures and organs of the head and is composed of tissue-equivalent synthetic materials, allowing dose measurement to be taken of organs specifically at risk in the head [30]. The International Committee of Radiation Protection (ICRP 60) designated the term "Sievert" to define the effective dose [29].

The radiation exposure of a digital volume tomogram (DVT) is lower than that of a computed tomogram (CT) according to the literature. Mozzo et al. [28] compared the radiation exposure of a DVT and a CT (Somatom Plus 4, Siemens, Erlangen, Germany), and they detected that the DVT radiation dose was up to six times lower than that of a CT. In a study of Cohnen et al. [3] the effective DVT dose was reduced fivefold compared to a dental CT, but it was only 35% lower than that of a low-dose-CT (Somatom Plus 4, Siemens, Erlangen, Germany). In the investigation conducted by Schulze et al. [33], the DVT values were two to three times lower than of a CT (Somatom Volume Zoom, Somatom Sensation 16, Siemens, Erlangen, Germany). Hirsch et al. [17] detected that the reduction in radiation of a DVT is three to fivefold less than that of a spiral-CT (Somatom Plus 4, Siemens, Erlangen, Germany). Similar results were revealed in investigations concerning the radiation exposure of DVT performed in the Department of Cranio-Maxillofacial Surgery at the University of Heidelberg. DVT also presents a two to three times less effective radiation dose than that of a dose-reduced CT (PQ-2000, Picker International Inc., Highland Heights, Ohio, USA) [35]. Cohnen et al. [3] and Ludlow et al. [23] compared radiation exposure of a DVT and of a panoramic radiograph. Thereby, Cohnen et al. [3] found out that an effective dose of a DVT was ten times higher than that of a panoramic radiograph (Orthophos C, Sirona, Bensheim, Germany). Ludlow et al. [23] found with the DVT a three to seven times higher effective dose when compared with a panoramic radiograph (Orthophos Plus DS, Sirona, Charlotte, NC, USA).

The digital volume tomograph New Tom QR-DVT 9000 (Verona, Italy) was used in all the studies mentioned above. In nearly all thereof, the investigators used geometrical Rando-Phantoms. Only Hirsch et al. [17] used an anthropomorphic dosimetric phantom (Visser). The computer tomographs

nes Low-Dose-CT (Somatom Plus 4, Siemens, Erlangen, Deutschland). Schulze et al. [33] geben in ihrer Untersuchung für ein DVT zwei- bis dreimal geringere Werte an als für ein CT (Somatom Volume Zoom, Somatom Sensation 16, Siemens, Erlangen, Deutschland). Hirsch et al. [17] fanden eine Strahlenreduktion eines DVT um das Drei- bis Fünffache gegenüber einem Spiral-CT (Somatom Plus 4, Siemens, Erlangen, Deutschland). In Untersuchungen zur Einschätzung der Strahlenexposition durch die DVT in der Poliklinik für Mund-Kiefer- und Gesichtschirurgie der Universitätsklinik Heidelberg wurden ähnliche Werte gemessen. Auch hier zeigte das DVT eine zwei- bis dreifach geringere effektive Strahlendosis als ein strahlenreduziertes CT (PQ-2000, Picker International Inc., Highland Heights, Ohio, USA) [35]. Cohnen et al. [3] und Ludlow et al. [23] verglichen die Strahlenexposition eines DVT mit der eines OPG. Dabei ermittelten Cohnen et al. [3] eine zehnfach höhere effektive Strahlendosis für ein DVT gegenüber einem OPG (Orthophos C, Sirona, Bensheim, Deutschland), Ludlow et al. [23] eine drei- bis siebenfach höhere effektive Strahlendosis für ein DVT gegenüber einer Panoramaschichtaufnahme (Orthophos Plus DS, Sirona, Charlotte, NC, USA).

In allen oben beschriebenen Studien wurde der digitale Volumentomograph New Tom QR-DVT 9000 (Verona, Italien) eingesetzt. Die Untersuchungen erfolgten in fast allen Studien an geometrischen Rando-Phantomen. Nur Hirsch et al. [17] verwendeten ein anthropomorphes Dosimetriephantom (Visser). Die Computertomographen und ihre Strahlenprotokolle unterschieden sich allerdings erheblich. Daher muss bei Studien zur Messung von Strahlenexposition berücksichtigt werden, dass nur bei Übereinstimmung sämtlicher Messbedingungen direkte Vergleiche der einzelnen Untersuchungen möglich sind [30]. Deshalb können die Daten aufgrund der unterschiedlichen Messparameter, Aufnahmegeräte, Phantome und der differierenden Versuchsanordnungen nur unter Vorbehalt miteinander verglichen werden [24].

Bildqualität

Die DVT findet ihre Anwendung vor allem im Hochkontrast, d. h. sie eignet sich besonders zur Darstellung von Hartgewebsstrukturen wie Knochen oder Zähnen [3, 5]. Mozzo et al. [28] stellten ein gering erhöhtes Bildrauschen im DVT gegenüber dem CT fest und leiteten davon die geringere Auflösung des DVT im Niedrigkontrast ab. Eine Einschränkung der Auflösung im Hochkontrast konnten sie nicht feststellen. Nach Cohnen et al. [3] ist das Bildrauschen in beiden Techniken vergleichbar, wohingegen Ludlow et al. [23] beim DVT ein stärkeres Bildrauschen und damit eine geringere Auflösung feststellten. Sie konnten jedoch keine Angaben darüber machen, inwieweit dieser Verlust in der Auflösung die zahnärztliche Diagnostik einschränkt. Strukturen können nach Flinzberg et al. [5] beim

and their protocols of radiation dose differed significantly. Therefore, investigations concerning measurements of radiation exposure can only be compared with each other when all parameters coincide [30]. Data can only be compared to a limited extent referring to different parameters, measurement devices, phantoms, and methods [24].

Image Quality

DVT is applied in high-contrast particularly; it is appropriate for the visualization of bony structures and teeth [3, 5]. Mozzo et al. [28] detected that image noise was slightly higher in DVT than in CT, and therefore concluded that the low-contrast resolution was lower. They did not find any reduction in resolution in high-contrast. Cohnen et al. [3] pointed out that there is no difference in image noise between the two techniques. In contrast, Ludlow et al. [23] noted greater image noise and concurrent lower resolution in DVT, but they could not determine the consequences of this fact for diagnostic purposes in dentistry. Based on studies of Flinzberg et al. [5], DVT can also visualize structures in the immediate vicinity of metal materials such as plates for osteosynthesis.

Hirsch et al. [18] supposed even a lower sensitivity in DVT to artefacts caused by metal than in CT. Holberg & Rudzki-Janson [20] showed that the current capability of DVT is not up to visualizing periodontal ligament space, and therefore cannot be used for the diagnostics of ankylosed teeth. In such a case, DVT is inferior to CT. Nevertheless, CT represents the method of choice in soft tissue diagnostics, i.e., in tumor diagnosis [33].

Orthodontic Applications

In orthodontics, DVT can provide valuable information in cases of tooth eruption disturbances and impacted teeth. Based on Hatcher & Aboudara's investigation [14], DVT can three-dimensionally visualize certain regions of the dentition, something not possible with conventional two-dimensional imaging techniques. Its orthodontic applications can include [14]:

- position of the maxillary incisor roots relative to the lingual cortical border of the palate (e.g. to evaluate orthodontic retraction of the incisors),
- the amount of bone in the posterior maxilla available for distalization
- the amount of bone lateral to the maxillary buccal segments,
- maxillary root proximity to the maxillary sinus,
- position of the mandibular incisor roots in bone.

Furthermore, according to Hatcher & Aboudara [14], DVT can be valuable for investigating temporomandibular joints. Therefore, one should keep in mind that imaging techniques without ionizing radiation are available for the visualization of temporomandibular joints. This is realized with the mag-

DVT auch in unmittelbarer Nähe zu Metallfremdkörpern wie z. B. Osteosyntheseplatten dargestellt werden.

Hirsch et al. [18] vermuteten beim DVT sogar eine geringere Anfälligkeit für Metallartefakte als im CT. Holberg & Rudzki-Janson [20] zeigten, dass das DVT in seinem derzeitigen Entwicklungsstand zur Darstellung des Parodontal-spaltes und damit zur Ankylosediagnostik nicht geeignet und dem CT unterlegen ist. Darüber hinaus stellt zur Diagnostik von Weichgewebe, wie z. B. in der Tumordiagnostik, das CT nach wie vor das Verfahren der Wahl dar [33].

Kieferorthopädische Indikationen

In der Kieferorthopädie kann das DVT besonders wertvolle Informationen bei Zahndurchbruchstörungen und Zahnverlagerungen liefern. Nach Hatcher & Aboudara [14] lassen sich bestimmte Regionen der Dentition durch dreidimensionale Bilder darstellen, die mit konventionellen zweidimensionalen bildgebenden Verfahren nur unzureichend visualisiert werden können. Das Indikationsspektrum kann hierbei umfassen [14]:

- die Position der Wurzeln der Oberkieferschneidezähne in Relation zur palatinalen Kortikalis (z.B. zur Beurteilung einer kieferorthopädischen Retraktion der Frontzähne),
- das Knochenangebot im posterioren Bereich der Maxilla, um Distalisierungsmaßnahmen zu planen,
- das laterale Knochenangebot der Seitenzähne des Oberkiefers,
- die Lage der Wurzeln der Oberkieferzähne in Relation zur Kieferhöhle,
- die Position der Unterkieferschneidezahnwurzeln in Relation zum Knochen.

Zudem sehen Hatcher & Aboudara [14] in der DVT auch die Möglichkeit zur Darstellung der Kiefergelenke. Dabei sollte allerdings berücksichtigt werden, dass zur Darstellung der Kiefergelenke in der Kiefergelenkdiagnostik bildgebende Verfahren ohne ionisierende Strahlung zur Verfügung stehen. Dies wird mit der Magnetresonanztomographie verwirklicht, die den Goldstandard in der Diagnostik von Kiefergelenkserkrankungen darstellt [2, 22]. Eine besondere Indikation stellt der Einsatz der DVT bei Patienten mit Lippen-Kiefer-Gaumen-Spalten dar, da diese Patienten besonders häufig eine atypische Dentition aufweisen [15, 32]. Im Hinblick auf therapeutische Fragestellungen sind die variable Ausprägung der Kieferspalt [13], die Dymorphie seitlicher Schneidezähne [32], die Nichtanlage und die Überzahl seitlicher Schneidezähne [32, 34] sowie die Retention von Eckzähnen nach einer Kieferspaltosteoplastik auf der Spaltseite von großer Bedeutung [4, 27]. Diese bei Spaltpatienten auftretenden typischen Besonderheiten sind entscheidend, um Indikation und Zeitpunkt einer Kieferspaltosteoplastik festzulegen, zur Abklärung der Erhaltungswürdigkeit der Zähne in der Spaltregion, sowie zur Umsetzung kieferorthopädischer Planungen.

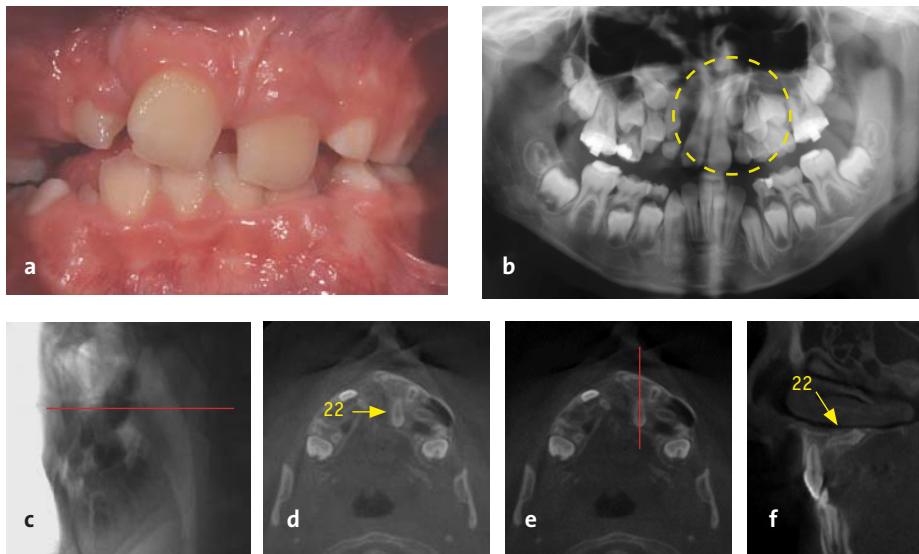


Figure 2a to 2f. a) Clinical findings: Cleft of the lip and palate on the right side; both upper lateral incisors are not visible intraorally; b) Panoramic radiograph: unclear finding with an opacity in the apical region of the upper left canine; c) Level of axial slice in DVT; d) Upper left lateral incisor in axial slice; e) Level of sagittal slice in DVT; f) Sagittal slice: position of the upper left lateral incisor to the nasal floor and the top of the palate.

Abbildungen 2a bis 2f. a) Klinische Situation: rechtsseitige Lippen-Kiefer-Gaumen-Spalte; die Zähne 12 und 22 sind intraoral nicht sichtbar; b) OPG: unklarer Befund im apikalen Bereich des Zahnes 23; c) Schnittebene für einen DVT-Axialschnitt; d) Darstellung des verlagerten Zahnes 22 im DVT-Axialschnitt; e) Schnittebene für einen DVT-Sagittalschnitt; f) DVT-Sagittalschnitt: Lagebeziehung des verlagerten Zahnes 22 zum Nasenboden und zum Gaumendach.

netic resonance imaging technique (MRI), the gold-standard in the diagnostics of temporomandibular disorders [2, 22].

Moreover, DVT can be used in patients with cleft lip and palate, because such patients are often affected by atypical dentition [15, 32]. With regard to therapeutic questions, variability of the alveolar cleft [13], dysmorphia of the lateral incisors [32], congenitally missing and supernumerary lateral incisors [32, 34], and impacted canines after alveolar bone graft on the cleft side are of great importance [4, 27]. These typical findings in cleft patients are important in determining the need and the timing for an alveolar bone graft, and to evaluate the morphology and prognosis of the teeth in the cleft area, also regarding orthodontic treatment planning.

Case Reports

Three case reports demonstrating a variety of applications of DVT for orthodontic issues are presented below.

1.) In a 9-year, 1-month-old patient with closure of cleft lip and palate the panoramic radiograph presents an opacity in the apical region of the upper left canine. It is unclear whether the tooth germ of the left upper lateral incisor exists (Figure 2b). Neither upper lateral incisor is visible intraorally (Figure 2a).

The primary reconstruction of DVT in the axial slice visualizes the palatally-impacted upper left lateral incisor with the crown displaced to the palatal and the root to the vestibular side (Figure 2d). Figure 2c presents the axial slice level in DVT. The secondary reconstruction of DVT is as demonstrated in Figure 2e, visualizing the proximity of the upper left lateral incisor to the nasal floor and the top of the palate (Figure 2f).

2.) In a 15-year, 8-month-old patient, the panoramic radiograph shows an unclear finding in the left maxilla with

Kasuistiken

Anhand von drei Patienten sollen die Anwendungsmöglichkeiten der DVT für kieferorthopädische Fragestellungen aufgezeigt werden.

1.) Eine 9 Jahre 1 Monat alte Patientin mit einer verschlossenen Lippen-Kiefer-Gaumen-Spalte zeigt im OPG eine Opazität im apikalen Bereich des Zahnes 23 bei fraglicher Anlage des Zahnes 22 (Abbildung 2b). Die Zähne 12 und 22 sind intraoral nicht sichtbar (Abbildung 2a).

Die Primärrekonstruktion des DVT zeigt im Axialschnitt den nach palatinal verlagerten Zahn 22 mit Neigung der Zahnkrone nach palatinal und der Wurzel nach vestibulär (Abbildung 2d), wobei Abbildung 2c die Schnittebene des Axialschnittes zeigt.

Die Sekundärrekonstruktion des DVT verläuft wie in Abbildung 2e dargestellt und visualisiert die Nähe des Zahnes 22 zum Nasenboden und zum Gaumendach (Abbildung 2f).

2.) Bei einer 15 Jahre 8 Monate alten Patientin zeigte sich im OPG ein unklarer Befund im zweiten Quadranten mit Verlagerung des Zahnes 25 (Abbildung 3a).

Der DVT-Axialschnitt lässt in der Primärrekonstruktion die Lagebeziehung der verlagerten Zähne 23, 24, 25 sowie 65 zueinander erkennen (Abbildung 3b).

Die 3D-Rekonstruktion stellt dreidimensional die enge Lage der Zähne zueinander dar (Abbildung 3c).

3.) Abbildung 4a zeigt einen 11 Jahre 3 Monate alten Patienten mit intraoral fehlenden Zähnen 12, 21 und 22 bei durchgebrochenem Zahn 11. Im OPG ist die Verlagerung von 21 und 22 zu erkennen (Abbildung 4b).

Die Sekundärrekonstruktion des DVT zeigt im Sagittalschnitt die Lagebeziehung der Zähne 21 und 22 zueinander, zum Nasenboden und zum Gaumendach (Abbildung 4c).

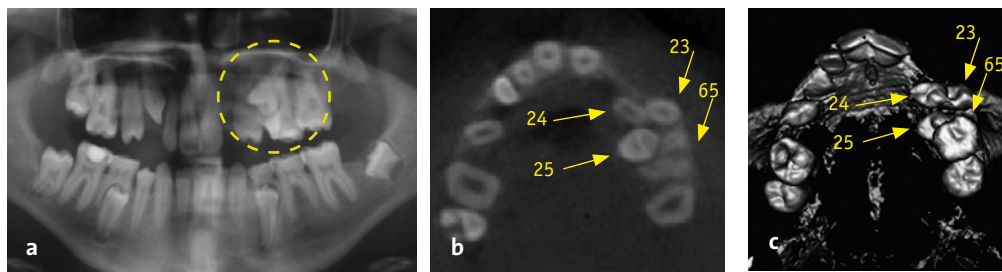


Figure 3a to 3c. a) Panoramic radiograph: unclear finding in the maxilla on the left side with ectopic position of the second premolar; b) Axial slice in DVT: position of the upper left ectopic canine, first and second bicuspid and second deciduous molar to each other; c) 3D-reconstruction: topographical relationship of the teeth to each other.

Abbildungen 3a bis 3c. a) OPG: unklarer Befund im zweiten Quadranten mit Verlagerung des Zahnes 25; b) DVT-Axialschnitt: Darstellung der Lagebeziehung der verlagerten Zähne 23, 24, 25, sowie 65 zueinander; c) 3-D-Rekonstruktion: dreidimensionale Darstellung der Lage von 23, 24, 25 und 65.

the second premolar in ectopic position (Figure 3a). The axial slice presents in primary reconstruction the positions of the upper left ectopic canine, first and second bicuspid and second deciduous molar to each other (Figure 3b). The 3D-reconstruction demonstrates the topographical inter-relationship of the teeth (Figure 3c).

3.) Figure 4a presents an 11-year, 3-month-old patient. Neither upper lateral incisor nor the upper left central incisor are visible intraorally. The upper right central incisor has already erupted. The panoramic radiograph shows the upper left central and lateral incisor in ectopic position (Figure 4b).

The secondary reconstruction presents the topographical inter-relationships of the upper left central and lateral

Abbildung 4d stellt den Zahn 21 im DVT-Axialschnitt, Abbildung 4e den Zahn 22 im Axialschnitt dar, wobei die Schnittebenen für die Axialschnitte in Abbildung 4c veranschaulicht werden. Abbildung 4f zeigt die 3D-Rekonstruktion in der Frontalansicht.

Schlussfolgerungen

1. Die DVT ermöglicht eine dreidimensionale Darstellung knöcherner Strukturen und kann damit bei komplexen kieferorthopädischen Fragestellungen ein geeignetes diagnostisches Hilfsmittel sein. Das Indikationsspektrum kann hierbei insbesondere umfassen:
 - die Lokalisation retinierter und verlagelter Zähne [14],
 - die Darstellung des Knochenangebots im Hinblick auf

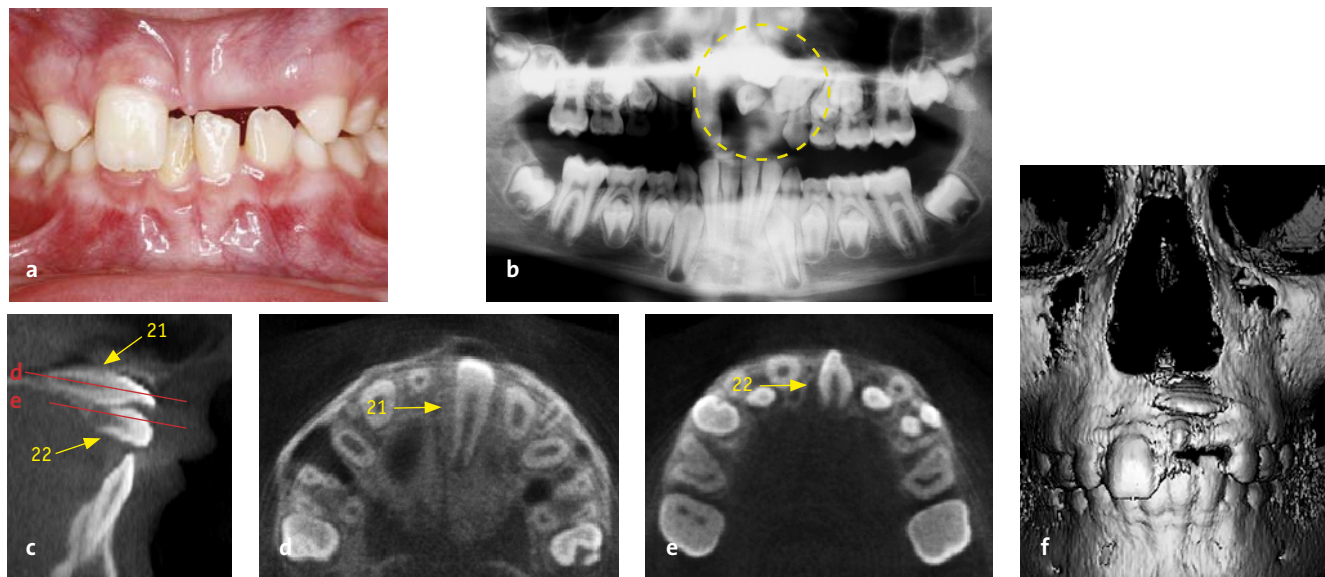


Figure 4a to 4f. a) Clinical findings: Both the upper lateral incisors and the upper left central incisors are missing, while the upper right central incisor is fully erupted; b) Panoramic radiograph: ectopic position of the upper left central and lateral incisors; c) Sagittal slice in DVT: topographical relationship of the upper left central and lateral incisors to each other, to the nasal floor and the top of the palate; levels of axial slices of the upper left central and lateral incisors; d) Position of the upper left central incisor in axial slice; e) Position of the upper left lateral incisor in axial slice; f) 3D-reconstruction.

Abbildungen 4a bis 4f. a) Klinische Situation: die Zähne 12, 21 und 22 fehlen bei vollständig durchgebrochenem Zahn 11; b) OPG: Verlagerung der Zähne 21 und 22; c) DVT-Sagittalschnitt: Lagebeziehung der Zähne 21 und 22 zueinander, zum Nasenboden und zum Gaumendach; Schnittebenen für einen DVT-Axialschnitt der Zähne 21 und 22; d) Darstellung des Zahnes 21 im Axialschnitt; e) Darstellung des Zahnes 22 im Axialschnitt; f) 3-D-Rekonstruktion.

incisors to the nasal floor and the top of the palate (Figure 4c).

Figure 4d presents the upper left central incisor, Figure 4e presents the upper left lateral incisor in axial slice. The axial slice levels are illustrated in Figure 4c. Figure 4f shows the 3D-reconstruction in a frontal view.

Conclusions

1. It is possible to visualize osseous structures three-dimensionally using digital volume tomography, making this comparatively new technique a valuable tool for complex orthodontic questions. The variety of indications can include:
 - the localization of impacted and ectopic teeth [14],
 - imaging of the amount of bone available for orthodontic tooth movement [14],
 - imaging of the alveolar cleft and evaluation of teeth in patients with cleft lip and palate.
2. Previous investigations showed less radiation exposure in DVT compared to CT, ranging between a reduction of only 35% [3] up to a three- to five-time reduction [17]. With respect to further development of computed tomography and associated reduction in radiation exposure, further studies are called for in this field.
3. In most cases, image quality is adequate for orthodontic examinations, especially in localizing impacted teeth. Current devices cannot visualize periodontal ligament space with adequate resolution [20]. In contrast, the high resolution computed tomography (HR-CT) technique permits the identification and the quantitative evaluation of bone dehiscences and thin cortical bone plates covering the vestibular and lingual root surfaces and it permits the assessment of the periradicular bone level of individual incisors and of the attachment level without overlying structures [8, 10–12]. In contrast to other imaging techniques, digital volume tomography is a relatively new technique, and its full potential has not yet been fully realized. We look forward to its future development.
4. Mozzo et al. [28] and Mah & Hatcher [25] consider DVT – with its three-dimensional imaging and combination of comparatively low radiation exposure and affordability – to be a promising technique. Nevertheless, panoramic radiographs and cephalograms will continue to be the standard in orthodontic diagnostics on a routine basis.

Acknowledgment

The authors are grateful to D. Woodnutt, DDS, for critical reading of the English manuscript.

References

1. Böhm B, Hirschfelder U. Localization of lower right molars in a panoramic radiograph, lateral cephalogram and dental CT. *J Orofac Orthop* 2000;61:237–45.
2. Brandlmaier I, Grüner S, Rudisch A, et al. Validation of the clinical diagnostic criteria for temporomandibular disorders for the diag-

die Durchführung kieferorthopädischer Bewegungen einzelner Zähne und Zahngruppen [14],

- die Darstellung der Kieferspalte und die Abklärung von Zahnanlagen bei Patienten mit Lippen-Kiefer-Gaumen-Spalten.
2. Bisherige Untersuchungen zeigen eine reduzierte Strahlenbelastung des DVT gegenüber dem CT, die zwischen einer Reduktion von nur 35% [3] und einer drei- bis fünffachen Reduktion [17] liegt. Da jedoch auch im Bereich der CT eine stetige Weiterentwicklung und damit Reduktion der Strahlenbelastung stattfindet, müssen auf diesem Gebiet künftig weitere Studien durchgeführt werden.
 3. Die Bildqualität ist für viele kieferorthopädische Fragestellungen ausreichend, insbesondere bei der Lokalisation verlagelter Zähne. Bei den bislang verfügbaren Geräten ist die Grenze der Auflösung jedoch bei der Darstellung des Parodontalspaltes [20] erreicht. Der Einsatz der hochauflösenden CT-Technik (HR-CT) ermöglicht dagegen die Identifikation von Knochendehiszenzen und die überlagerungsfreie quantitative Bewertung der kortikospongiösen Knochenauflagerung über den vestibulären und lingualen Zahnwurzeloberflächen, des periradikulären Knochenniveaus einzelner Frontzähne, und erlaubt eine verbesserte Beurteilung des Attachmentniveaus [8, 10–12]. Jedoch ist die digitale Volumentomographie eine im Vergleich zu anderen bildgebenden Verfahren noch sehr junge Technik, deren Potential möglicherweise noch nicht voll ausgeschöpft ist und deren Weiterentwicklung abzuwarten bleibt.
 4. Mozzo et al. [28] und Mah & Hatcher [25] sehen – in der Kombination aus 3D-Darstellung verbunden mit der vergleichsweise niedrigen Strahlenbelastung und den relativ niedrigen Kosten – in der DVT eine viel versprechende Technik, wobei OPG und FRS nach wie vor die Verfahren der kieferorthopädischen Routinediagnostik bleiben werden.

Danksagung

Unser Dank gilt D. Woodnutt, DDS, für das kritische Lesen des englischsprachigen Manuskriptes.

- nostic subgroup of degenerative joint disease. *J Oral Rehabil* 2003;30:401–6.
3. Cohnen M, Kemper J, Möbes O, et al. Radiation dose in dental radiology. *Eur Radiol* 2002;12:634–7.
4. Da Silva Filho OG, Teles SG, Ozawa TO, et al. Secondary bone graft and eruption of the permanent canine in patients with alveolar clefts: literature review and case report. *Angle Orthod* 2000;70:174–8.
5. Flinzberg S, Schmelzle R, Schulze D, et al. Dreidimensionale Darstellungsmöglichkeit des Mittelgesichts mithilfe der digitalen Volumentomographie anhand einer Kadaverstudie zur winkelstabilen Osteosynthese. *Mund Kiefer Gesichtschir* 2003;7:289–93.
6. Fuhrmann A, Schulze D, Rother U, et al. Digital transversal slice imaging in dental-maxillofacial radiology: from pantomography to digital volume tomography. *Int J Comput Dent* 2003;6:129–40.
7. Fuhrmann RA, Froberg U, Diedrich PR. Treatment prediction with three-dimensional computer tomographic skull models. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1994;106:156–60.
8. Fuhrmann RA, Bucker A, Diedrich PR. Assessment of alveolar bone loss with high resolution computed tomography. *J Periodontol Res* 1995;30:258–63.
9. Fuhrmann R, Feifel H, Schnappauf A, Diedrich P. Integration of three-dimensional cephalometry and 3D-skull models in combined orthodontic/surgical treatment planning. *J Orofac Orthop* 1996;57:32–45.
10. Fuhrmann R. Three-dimensional interpretation of alveolar bone dehiscences. An anatomical-radiological study. Part I. *J Orofac Orthop* 1996;57:62–74.
11. Fuhrmann R. Three-dimensional interpretation of labiolingual bone width of the lower incisors. Part II. *J Orofac Orthop* 1996;57:168–85.
12. Fuhrmann R. Three-dimensional interpretation of periodontal lesions and remodelling during orthodontic treatment. Part III. *J Orofac Orthop* 1996;57:224–37.
13. Härtel J, Kriens O, Kundt G. Incidence of cleft lip, alveolus and palate forms. *J Craniomaxillofac Surg* 1991;19:144–6.
14. Hatcher DC, Aboudara CL. Diagnosis goes digital. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2004;125:512–5.
15. Heidebüchel KL, Kuijpers-Jagtman AM. Maxillary and mandibular dental-arch dimensions and occlusion in bilateral cleft lip and palate patients from 3 to 17 years of age. *Cleft Palate Craniofac J* 1997;34:21–6.
16. Heurich Th, Ziegler C, Steveling H, et al. Digital volume tomography – an extension to the diagnostic procedures available for application before surgical remove of third molars. *Mund Kiefer Gesichtschir* 2002;6:427–32.
17. Hirsch E, Gosch D, Graf H-L et al. Untersuchungen zur Dosisbelastung bei verschiedenen Röntgenaufnahme-techniken zur präimplantären Diagnostik. Poster auf der Gemeinschaftstagung der deutschen Gesellschaft für Implantologie im ZMK-Bereich, der Österreichischen Gesellschaft für Orale Chirurgie und Implantologie und der Schweizerischen Gesellschaft für Orale Implantologie, Salzburg, 2000.
18. Hirsch E, Visser H, Graf H-L. Präimplantäre Röntgendiagnostik – Informationsbedarf versus Strahlenbelastung. *Implantologie* 2002;10:291–302.
19. Hirschfelder U. Radiological survey imaging of the dentition: dental CT versus orthopantomography. *J Orofac Orthop* 1994;55:14–20.
20. Holberg C, Rudzki-Janson I. 3D-Visualisierung und Ankylose-Diagnostik retinierter und verlagter Zähne mit der Digitalen Volumentomographie. Vortrag auf der 77. Jahrestagung der DGKFO, Freiburg, 22.–26.09.2004.
21. Kim K-D, Ruprecht A, Jeon K-J, et al. Personal computer-based three-dimensional computed tomographic images of the teeth for evaluating supernumerary or ectopically impacted teeth. *Angle Orthod* 2003;73:614–21.
22. Kress B, Gottschalk A, Schmitter M, et al. Benign diseases of the mandible in MRT. *Rofo* 2004;176:491–99.
23. Ludlow JB, Davies-Ludlow LE, Brooks SL. Dosimetry of two extraoral direct imaging devices: NewTom cone beam CT and Orthophos Plus DS panoramic unit. *Dentomaxillofac Radiol* 2003;32:229–34.
24. Mah JK, Danforth RA, Bumann A, et al. Radiation absorbed in maxillofacial imaging with new dental computed tomography device. *Oral Surg Oral Med Oral Path* 2003;96:508–13.
25. Mah J, Hatcher D. Three-dimensional craniofacial imaging. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2004;126:308–9.
26. Mason C, Papadakou P, Roberts GJ. The radiographic localization of impacted maxillary canines: comparison of methods. *Eur J Orthod* 2001;23:25–34.
27. McCannan CM, Roberts-Harry DP. A comparison of two different bone-harvesting techniques for secondary alveolar bone grafting in patients with cleft lip and palate. *Cleft Palate Craniofac J* 1998;35:442–6.
28. Mozzo P, Procacci C, Tacconi A, et al. A new volumetric CT machine for dental imaging based on the cone-beam technique: preliminary results. *Eur Radiol* 1998;8:1558–64.
29. Pasler FA, Visser H. Ionisierende Strahlung und ihre biologischen Wirkungen. In: Rateitschak KH, Wolf HF, eds. *Farbatlanten der Zahnmedizin 5: Zahnmedizinische Radiologie*. Stuttgart–New York: Thieme, 2000:2–15.
30. Pasler FA, Visser H. Strahlenexposition des Patienten bei zahnärztlichen Röntgenuntersuchungen. In: Rateitschak KH, Wolf HF, eds. *Farbatlanten der Zahnmedizin 5: Zahnmedizinische Radiologie*. Stuttgart–New York: Thieme, 2000:17–28.
31. Pasler FA, Visser H. Intra- und extraorale Anwendungen der Aufbitzaufnahme. In: Rateitschak KH, Wolf HF, eds. *Farbatlanten der Zahnmedizin 5: Zahnmedizinische Radiologie*. Stuttgart–New York: Thieme, 2000:87–92.
32. Ranta R. A review of tooth formation in children with cleft lip/palate. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1986;90:11–8.
33. Schulze D, Heiland M, Thurmann H, et al. Radiation exposure during midfacial imaging using 4- and 16-slice computed tomography, cone beam computed tomography systems and conventional radiography. *Dentomaxillofac Radiol* 2004;33:83–6.
34. Tsai T-P, Huang C-S, Huang C-C, et al. Distribution patterns of primary and permanent dentition in children with unilateral complete cleft lip and palate. *Cleft Palate Craniofac J* 1998;35:154–60.
35. Wörtche R. Klinische Anwendung und Strahlenbelastung der digitalen Volumentomographie zur radiologischen Diagnostik im Kiefer-Gesichtsbereich. Heidelberg: Med Diss, 2003.
36. Youssefzadeh S, Gahleitner A, Bernhart D, et al. Konventionelle Dentalradiologie und Zukunftsperspektiven. *Radiologe* 1999;39:1018–26.
37. Ziegler CM, Woertche R, Brief J, et al. Clinical indications for digital volume tomography in oral and maxillofacial surgery. *Dentomaxillofac Radiol* 2002;31:126–30.

Correspondence Address

Dr. Eva Müssig
Poliklinik für Kieferorthopädie
Im Neuenheimer Feld 400
69120 Heidelberg
Germany
Phone: (+49/6221) 56-6565, Fax -5753
e-mail: eva_muessig@med.uni-heidelberg.de