

# Radiologische 3D-Diagnostik in der Kieferorthopädie (CT/DVT)

## Einleitung

Die hohe Anzahl internationaler wissenschaftlicher Publikationen belegt, dass die rasante technologische Weiterentwicklung der digitalen Röntgentechnik hin zur dreidimensionalen „low dose“-Bildgebung nicht nur die medizinische, sondern auch die zahnmedizinische Röntgendiagnostik nachhaltig beeinflusst, ja revolutioniert hat. Als Meilenstein ist in diesem Zusammenhang die Entwicklung der Spiral-Computertomographie 1989 zu sehen, mit der es erstmals möglich war, definierte Volumendatensätze eines Untersuchungsobjektes schnell und unkompliziert zu akquirieren, um daraus mit Hilfe mathematischer Algorithmen überlagerungsfreie transaxiale Schnittbilder, multiplanare Sekundärrekonstruktionen sowie 3D-Oberflächendarstellungen und Dental-CTs zu generieren.

In den vergangenen Jahren hat sich mit der Digitalen Volumentomographie (DVT, Cone Beam CT) speziell für die zahnmedizinische Praxis ein neues dentales Volumenaufnahmeverfahren etabliert, das auf den Prinzipien der Kegelstrahlgeometrie (Cone-Beam-Technologie) basiert. Dabei zählen die geringe Patientendosis moderner DVT-Systeme (effektive Dosis je nach System zwischen  $15\mu\text{Sv}$  und  $100\mu\text{Sv}$ ), die geometrietreue Abbildung anatomischer Details und die direkte Einsetzbarkeit in der zahnärztlichen Praxis zweifellos zu den großen Vorteilen dieser innovativen Technologie. Nachteile der Technik sind die schwache Weichgewebisdifferenzierung, auch wenn diese in der Kieferorthopädie von untergeordneter Bedeutung ist, und die unzureichende Kalibrierung der CT-Werte, die quantitative Aussagen zur Knochendichte nicht erlaubt. Im Vergleich muss auch angemerkt werden, dass die klinische CT die gleiche Bildqualität wie die DVT sogar bei niedriger Dosis liefern kann, wenn sie in entsprechenden „low dose modes“ betrieben wird.

Obwohl die DVT seit ihrer Einführung in Europa bislang in erster Linie für Fragestellungen aus der Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie und der Implantologie angewendet wurde, gilt die CBCT-Technologie in den USA bereits seit 2003 als Goldstandard in der kraniofazialen Bildgebung und hat somit dort auch auf dem Gebiet der Kieferorthopädie bereits weite Verbreitung gefunden. In diesem Zusammenhang wird wie-

derholt darauf hingewiesen, dass die Bildqualität der „Cone Beam-Technologie“ trotz erheblicher technischer Verbesserungen zur Zeit mit der Bildqualität der „MSCT-Technologie“ (Medical Spiral CT) noch nicht Schritt halten kann. Zudem wird, abhängig vom jeweiligen DVT-System, gegebenenfalls ein zu kleines Untersuchungsvolumen erfasst, was die Weiterverarbeitung der DVT-Volumendaten möglicherweise einschränkt. Um die Volumendaten (CT/DVT) jedoch gezielt auch zur Generierung von auswertungsfähigen virtuellen Fernröntgenseitenbilder (FRS) und von Orthopantomogrammen (OPG) nutzen zu können und dadurch zusätzliche Strahlenexpositionen zu vermeiden, ist es notwendig, ein ausreichend großes Untersuchungsvolumen zu scannen.

Im Vergleich zur konventionellen Röntgendiagnostik bieten die DVT-basierte und die MSCT-basierte 3D-Bildgebung erhebliche Vorteile für die röntgenologische Differentialdiagnostik komplexer dentofazialer Fehlentwicklungen. Sie hat sich somit auch für die Kieferorthopädie als wertvolles diagnostisches Instrument in Forschung, Lehre und Patientenversorgung erwiesen. Voraussetzung ist allerdings, wie für jede Röntgenaufnahme, dass eine rechtfertigende Indikation besteht (Rechtfertigungsgrundsatz der Röntgenverordnung vom 30.04.2003) und dass die „medizinische Strahlenexposition einen hinreichenden Nutzen erbringen muss“. Somit muss unabhängig von Aspekten der Dosis primär der Nutzen für den Patienten in Diagnostik, Therapieplanung und Therapiekontrolle abgewogen und jeweils das geeignete Verfahren für eine aussagekräftige diagnostische Bewertung gewählt werden.

Speziell zu berücksichtigen ist das deutlich höhere Strahlenrisiko bei Kindern, das bei der Indikationsstellung zur Anwendung ionisierender Strahlen und insbesondere beim Einsatz moderner 3D-Technologien besonders zu beachten ist.

### **Grundsätzliche Vorteile der 3D-Bildgebung für die Kieferorthopädie**

Dreidimensionale Aufnahmetechniken bieten bei komplexen kraniofazialen Fehlbildungen und speziellen therapeutisch relevanten Fragestellungen besondere Vorteile:

1. 3D-Darstellung definierter Untersuchungsvolumina, die es ermöglichen, räumliche Beziehungen und Zuordnungen zu erfassen. Dadurch ergeben sich bei komple-

zen Fehlentwicklungen detaillierte Erkenntnisse für eine morphologisch orientierte Therapieplanung und Therapiekontrolle sowie für die prognostische Einschätzung der weiteren Entwicklung.

2. Hervorragende Möglichkeiten, aus den vorhandenen Datensätzen transaxiale Primärschnittbilder, multiplanare Sekundärrekonstruktionen, Panorama- und Paraxialdarstellungen des Gebisses sowie virtuelle Fernröntgenbildern des Schädels ohne erneute Strahlenexposition zu generieren.
3. Weiter- bzw. Neuverarbeitung vorhandener Volumendatensätze mittels geeigneter Auswertungssoftware.

### **Indikationen der 3D-Bildgebung in der Kieferorthopädie**

1. Diagnostik von Anomalien des Zahnbestandes, insbesondere differentialdiagnostische Beurteilung der anatomischen Form und der Topographie noch nicht durchgebrochener überzähliger Zahnanlagen (Mesiodentes, syndromgebundene Hyperodontie).
2. Diagnostik von Anomalien und Dysplasien der Zahnwurzeln einschließlich von konventionell röntgenologisch nicht erkennbaren Wurzelresorptionen.
3. Differentialdiagnostische Bewertung von Zahndurchbruchsstörungen.
4. Ermittlung der Topographie retinierter und verlagerter Zahnkeime.
5. Beurteilung pathologischer Knochenstrukturen (z.B. Zysten, Odontome, entzündliche und tumorbedingte Läsionen).
6. 3D-Differentialdiagnostik von komplexen angeborenen oder erworbenen kraniofazialen Fehlbildungen sowie von Gesichts- und Kieferasymmetrien.
7. 3D-Differentialdiagnostik der Spaltemorphologie bei uni- und bilateralen LKG-Spalten einschließlich der Planung und Kontrolle der Kieferspaltosteoplastik.
8. Darstellung des peridentalen Knochenangebots zur prognostischen Bewertung geplanter Zahnbewegungen (z.B. im parodontal vorgeschädigtem Gebiss, z.B. zur Planung von Zahnbewegungen spaltangrenzender Zähne bei Patienten mit Lippen-Kiefer-Gaumenspalten).

### **Einschränkungen der Indikationen**

Medizinische Indikationseinschränkungen gegenüber der konventionellen Röntgendiagnostik bestehen durch die erhöhte Strahlenbelastung, die insbesondere bei Kindern und Jugendlichen unbedingt Berücksichtigung finden muss. Somit gilt auch für den Einsatz moderner 3D-Technologien in der Kieferorthopädie der Grundsatz der strengen und zurückhaltenden Indikationsstellung.

### **Zusammenfassende Bewertung**

Die 3D-Bildgebung stellt unter Zugrundelegung der geforderten „rechtfertigenden Indikation“ zweifelsohne eine effiziente röntgenologische Untersuchungsmethode mit vielfältigen diagnostischen Möglichkeiten dar, die auch in der Kieferorthopädie genutzt werden sollte. Der standardmäßige Einsatz in der täglichen kieferorthopädischen Praxis und damit die Ablösung der konventionellen digitalen Röntgendarstellungen der Kiefer und des Gesichtsschädels (OPG, FRS) steht derzeit angesichts der höheren Strahlenexposition, der hohen Investitionskosten und der bislang fehlenden abrechnungstechnischen Regelungen mit der GKV trotz der genannten Vorzüge nicht zur Diskussion. Die Gerätetechnik ist inzwischen vorhanden. Sowohl DVT als auch MSCT können mit der gewünschten niedrigen Dosis betrieben werden. Die DVT ist in der Regel besser verfügbar, die MSCT liefert die bessere Bildqualität, sofern diese nicht durch störende Metallartefakte gemindert wird.

### Literatur

Arai Y, Tammisalo E, Iwai K, et al. Development of a compact computed tomographic apparatus for dental use. *Dentomaxillofac Radiol* 1999;4:245-8.

Böhm B, Hirschfelder U. Vergleichende Lagebestimmung rechter unterer Molaren im Orthopantomogramm, Fernröntgenseitenbild und Dental-CT. *J Orofac Orthop* 2000;61:237-45.

Broer N, Fuhrmann A, Bremert S, Schulze D, Kahl-Nieke B. Evaluation of transversal slice imaging in the diagnosis of tooth displacement with special consideration of the upper canines. *J Orofac Orthop* 2005;66:94-109.

Cevidan LH, Styner MA, Proffit WR. Image analysis and superimposition of 3-dimensional cone-beam computed tomography models. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2006;129:611-8.

Cohnen M, Kemper J, Mobes O, Pawelzik J, Modder U. Radiation dose in dental radiology. *Eur Radiol* 2002;3:634-7.

Coppenrath E, Draenert F, Lechel U, Veit R, Meindl T, Reiser M, Mueller Lisse U. Cross-sectional imaging in dentomaxillofacial diagnostics: Dose comparison of dental MSCT and NewTom® 9000 DVT. *Fortschr Röntgenstr* 2008;180:396-401.

Danforth RA, Dus I, Mah J. 3-D volume imaging for dentistry: a new dimension. *J Calif Dent Assoc* 2003;31:817-23.

Ericson S, Bjerklin K, Falaha B. Does the canine dental follicle cause resorption of permanent incisor roots? A computed tomographic study of erupting maxillary canines. *Angle Orthod* 2002;72:95-104.

Farman AG, Scarfe W. Development of imaging selection criteria and procedures should precede cephalometric assessment with cone beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofac Orthod* 2006;130:257-65.

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.

Fuhrmann R. Three-dimensional interpretation of periodontal lesions and remodelling during orthodontic treatment. *J Orofac Orthop* 1996;57: 224-37.

Fuhrmann A, Schulze D, Rother U, et al. Digital transverse slice imaging and dental-maxillofacial radiology: from pantomography to digital volume tomography. *Int J Comput Dent* 2003;6:129-40.

Greiner M, Greiner A, Hirschfelder U. Variance of landmarks in digital evaluations: Comparison between CT-based and conventional lateral cephalometric radiographs. *J Orofac Orthop* 2007;68:290-98.

Guerrero ME, Jacobs R, Loubele M, et al. State-of-the-art on cone beam CT imaging for preoperative planning of implant placement. *Clin Oral Invest* 2006;10:1-7.

Hatcher DC, Aboudara CL. Diagnosis goes digital. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2004;125:512-5.

Hirsch E, Wolf U, Silva MA. Dosimetry of the cone beam computed tomography Veraviewepocs 3D compared with the 3D Accuitomo in different fields of view. *Dentomaxillofac Radiol* 2008;37:268-73.

Hirschfelder U, Hirschfelder H. Einsatzmöglichkeiten der Computertomographie in der Kieferorthopädie - erste Erfahrungen. *Dtsch Zahnärztl Z* 1984;39:939-46.

Hirschfelder U. 3-dimensionale Analyse von Kiefer-Gesichts- und Schädelanomalien - die klinische Anwendung der CT in der Kieferorthopädie. Hanser, München-Wien, 1992.

Hirschfelder U. Radiologische Übersichtsdarstellung des Gebisses: Dental-CT versus Orthopantomographie. *Fortschr Kieferorthop* 1994;55:14-20.

Hirschfelder U, Regn J, Hirschfelder H. Dental-CT: A new diagnostic tool in dental radiology based on double spiral CT (DXP). In: Porkieser H, Lechner G, eds. *Advances in CT III*. Berlin-Heidelberg-Paris-Tokyo-HongKong-Barcelona-Budapest: Springer, 1994:163-171.

Hirschfelder U, Piechot E, Schulte M, Leher A. Abnormalities of the TMJ and the musculature in the oculo-auriculo-vertebral spectrum. *J Orofac Orthop* 2004;65:204-16.

Holberg C, Steinhäuser S, Geis P, Rudzki-Janson I. Cone beam tomography in orthodontics: benefits and limitations. *J Orofac Orthop* 2005;5:434-44.

Holst A, Holst S, Hirschfelder U. Diagnostic potential of 3D-data-based reconstruction software: An analysis of the rare disease pattern of cherubism. *Cleft Palate Craniofac J* 2008, in press.

Honda K, Larheim T, Maruhashi K, et al. Osseous abnormalities of the mandibular condyle: diagnostic reliability of cone beam computed tomography compared with helical computed tomography based on an autopsy material. *Dentomaxillofac Radiol* 2006;35:152-57.

Kalender WA. *Computertomographie. Grundlagen, Gerätetechnologie, Bildqualität, Anwendungen*. Publicis, Erlangen 2006.

Kau CH, Richmond S, Palomo JM, Hans MG. Current products and practice. Three-dimensional cone beam computerized tomography in orthodontics. *J Orthod* 2005;32:282-93.

- Korbmacher H, Kahl-Nieke B, Schöllchen M, Heiland M. Value of two cone-beam Computed tomography systems from an orthodontic point of view. *J Orofac Orthop* 2007;4:278-89.
- Kumar V, Ludlow J, Soares Cevidanes LH, Mol A. In vivo comparison of conventional and cone beam CT synthesized cephalograms. *Angle Orthod* 2008;78:873-9.
- Kyriakou Y, Deak P, Langner O, Kalender WA. Concepts for dose determination in flat-detector CT. *Phys Med Biol* 2008;3551-66.
- Loubele M, Maes M, Schutyser F, et al. Assessment of bone segmentation quality of cone- beam CT versus multislice spiral CT: a pilot study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2006;102:225-34.
- Ludlow JB, Davies-Ludlow LE, Brooks SL. Dosimetry of two extraoral digital imaging devices: New-Tom cone beam CT and Orthophos Plus DS panoramic unit. *Dentomaxillofac Radiol* 2003;4:229-34.
- Ludlow JB, Davies-Ludlow LE, White SC. Patient risk related to common dental radiographic examinations: the impact of 2007 international commission on radiological protection recommendations regarding dose calculation. *Am Dent Assoc* 2008;139:1237-43.
- Ludlow JB, Ivanovic M. Comparative dosimetry of dental CBCT devices and 64-slice CT for oral and maxillofacial radiology. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2008;106:106-14.
- Mah JK, Danforth RA, Bumann A, Hatcher D. Radiation absorbed in maxillofacial imaging with a new dental CT. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2003;96:508-13.
- Mah JK, Hatcher D. Current status and future needs in craniofacial imaging. *Orthod Craniofac Res* 2003;6:10-16.
- Mah JK, Hatcher D. Craniofacial imaging in orthodontics. In: Graber TM, Vanarsdall RL, Vig K .eds. *Orthodontics. Current Principles and Techniques*, 4. ed. St. Louis: Elsevier Mosby, 2005: 71-100.
- Mah JK, Huang J, Bumann A. The cone beam decision in orthodontics. In: McNamara, Jr. JA, Kapla SD.eds. *Digital Radiography and Three-dimensional Imaging*. Department of Orthodontics and Pediatric Dentistry and Center for Human Growth and Development, University of Michigan 2006;43:508-13.
- Marmulla R, Woertche R, Muehling J, et al. Geometric accuracy of the New-Tom 9000 cone beam CT. *Dentomaxillofac Radiol* 2005;34:28-31.
- McNamara, Jr JA, Kapila SD. *Digital radiography and three-dimensional imaging*. Volume 43, Center for human growth and development, University of Michigan, Ann Arbor, Michigan.
- Miller AJ, Maki K, Hatcher DC. New diagnostic tools in orthodontics. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2004; 126: 395-96.
- Moshiri M, Scarfe WC, Hilgers ML, Scheetz JP, et al. Accuracy of linear measurements from imaging plate and lateral cephalometric images derived from cone-beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2007;132:550-60-
- Müssig E, Woertche R, Lux CJ. Indications for digital volume tomography in orthodontics. *J Orofac Orthop* 2005;66:241-9.
- Pan X, Siewerdsen J, La Riviere PJ, Kalender WA. Anniversary paper. Development of x-ray computed tomography: the role of medical physics and AAPM from the 1970s to present. *Med Phys* 2008;35:3728-39.
- Quintaro JC, Trosien A, Hatcher D, Kapila S. Craniofacial imaging in orthodontics: Historical perspective, current status, and future developments. *Angle Orthod* 1999;69: 491-506.

Schulze D, Heiland M, Thurmann H, Adam G. Radiation exposure during midface imaging using 4- and 16-slice computed tomography, cone beam computed tomography systems and conventional radiography. *Dentomaxillofac Radiol* 2004;33:83-86.

Silva MA, Wolf U, Heinicke F, Bumann A, Visser H, Hirsch E. Cone-beam computed tomography for routine orthodontic treatment planning: a radiation dose evaluation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*;133:640.e1-5.

Schulze D, Heiland M, Schmelzle R, et al. Diagnostische Möglichkeiten der digitalen Volumentomographie im Bereich des Gesichtsschädels. *Quintessenz* 2005;56:51-6.

Smekal L, Kachelriess M, Stepina E, Kalender WA. Geometric misalignment and calibration in cone-beam tomography. *Med Phys* 2004;31:3242-66.

Walker L, Enciso R, Mah J. Three-dimensional localization of maxillary canines with cone-beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2005;128:418-23.

Woertche R, Hassfeld S, Lux CJ. et al. Clinical application of cone beam digital volume tomography in children with cleft lip and palate. *Dentomaxillofac Radiol* 2006;35:88-94.

Zöller JE. Digitale Volumentomographie in der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde. Grundlagen, Diagnostik und Behandlungsplanung. Quintessenz, Berlin-Chicago-Tokio-Barcelona-Istanbul-London-Mailand-Moskau-Neu-Dehli-Peking-Prag-Seoul-Warschau, 2007.

Ursula Hirschfelder