

# Toepassing van tomografie in de tandheelkunde

P.F. van der Stelt, tandarts

**Samenvatting.** De conventionele röntgenopname is een projectiebeeld van een ruimtelijk object. Er ontbreekt daarom informatie over de derde dimensie. Verschillende röntgenologische technieken staan echter ter beschikking om informatie over de derde dimensie te verkrijgen. Afhankelijk van de diagnostische vraagstelling kan men soms volstaan met globale informatie in de vorm van een tweede opname vanuit een andere projectierichting, bijvoorbeeld in geval van lokalisatie van een geïmpacteerd element. Soms echter is er een meer gedetailleerd inzicht nodig in de ruimtelijke verhoudingen en is toepassing van tomografie geïndiceerd, bijvoorbeeld bij het bepalen van de beschikbare botmassa voor implantaten. Voor complete volume-informatie is CT of MRI de meest aangewezen techniek. Voor tandheelkundige toepassingen zal in de niet al te verre toekomst gebruik gemaakt kunnen worden van tomosynthese en microCT om gedetailleerde 3D-informatie ter beschikking te krijgen.

STELT PF VAN DER. Toepassing van tomografie in de tandheelkunde. Ned Tijdschr Tandheelkd 1995; 102: 492-5.

Uit de vakgroep Tandheelkundige Radiologie van het Academisch Centrum Tandheelkunde Amsterdam (ACTA).

Trefwoorden: Radiologie – Tomografie

Datum van acceptatie: 6 september 1995.

Adres: Prof.dr. P.F. van der Stelt, ACTA, Louwesweg 1, 1066 EA Amsterdam.

## 1 Inleiding

Een conventionele röntgenopname levert een tweedimensionale projectie op van de driedimensionale werkelijkheid. Informatie over de derde dimensie ontbreekt. Dit beperkt de diagnostische informatie die aanwezig is in een enkele röntgenfoto. Zo is niet zonder meer vast te stellen of een geïmpacteerd element buccaal of linguaal van de tandboog is gelegen.

Informatie over de derde dimensie kan diagnostisch van groot belang zijn. Er zijn daarom verschillende methoden ontwikkeld om met behulp van speciale röntgentechnieken aanvullende informatie te verkrijgen. De meest eenvoudige methode is het maken van een tweede opname vanuit een iets gewijzigde opnamerichting. Aan de hand van de verschuiving van de afgebeelde structuren is dan te reconstrueren welke structuren dicht bij de film en welke er verder vanaf liggen. Er is geen speciale apparatuur nodig om de opnamen te maken; kennis van de geometrie van de beeldvorming is voldoende.

Een iets ingewikkelder methode is het maken van stereopopnamen.<sup>1</sup> Een stereoscopische set röntgenopnamen bestaat uit twee opnamen die met een onderlinge hoek van zes tot tien graden zijn gemaakt. Wanneer men de ene opname met het ene oog bekijkt en de andere met het andere oog, wordt een suggestie van diepte gewekt. Om dergelijke opnamen te maken, moet men de instelling van de opnamerichting zeer goed onder controle hebben. Het stereoscopisch bekijken van de opnamen kan worden vergemakkelijkt door gebruik te maken van een speciale kijker, maar vergt desondanks toch speciale vaardigheid.

Dit artikel zal zich beperken tot opnametechnieken waarvoor speciale apparatuur vereist is. Deels gaat het om apparatuur die men kan aantreffen in specialistische klinieken, deels ook om opnametechnieken die thans nog experimenteel zijn, maar in de nabije toekomst vermoedelijk ook in de praktijk zullen kunnen worden toegepast.

## 2 Tomografie

De Nederlandse radioloog Ziedses des Plantes heeft als eerste het principe van de tomografie (toen nog planigrafie geheten) beschreven.<sup>2,3</sup> Tomografie berust op het afbeelden van een bepaalde laag uit het object, terwijl gelijktijdig structuren die zich verder van deze laag af bevinden door bewegingson-

scherpte worden vervaagd (afb. 1). Het röntgenapparaat en de film maken een beweging in tegenovergestelde richting. Het rotatiepunt van de verbindingsas van focus en film bevindt zich in de patiënt. De röntgenbundel lijkt in dit punt stil te staan. De hier gelegen structuren zullen dus scherp worden afgebeeld. Verder voor en achter de scherp afgebeelde laag zal de bundel echter een beweging door het object heen maken, waardoor de afbeelding van de hier gelegen structuren door bewegingsonscherpte wordt vervaagd. Door de juiste keuze van rotatiepunt, rotatiehoek en rotatiesnelheid kan worden bepaald welke laag scherp wordt afgebeeld en hoe dik deze laag zal zijn.

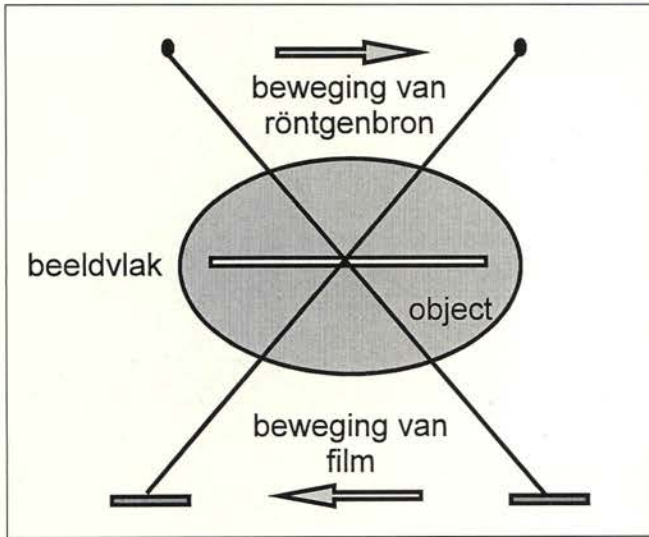
Lineaire tomografie is de meest simpele vorm. Nadeel van deze methode is dat contouren parallel aan de beweging van de röntgenbundel moeilijk te vervagen zijn. De meer geavanceerde apparatuur beschrijft een circulaire, spiraalvormige of hypocycloïdale beweging, waardoor de vervaging van structuren in alle richtingen even sterk plaatsvindt en de beeldkwaliteit sterk verbetert.

## 3 Panoramische tomografie

De tandheelkundige panoramische opname (orthopantomogram) is een speciale versie van het tomogram. Het orthopantomogram beeldt een gebogen laag af, overeenkomstig de vorm van de tandboog, en niet een vlakke laag zoals het planigram. Vanwege deze vorm van de doorsnede is er een vrij ingewikkelde mechanische sturing nodig: de röntgenbuis en de film moeten gelijktijdig, maar in tegengestelde richting bewegen en deze beweging moet zodanig plaatsvinden dat het rotatiepunt zich verplaatst volgens de vorm van de tandboog.<sup>4</sup>

In de oudere OPG-apparaten vond de sturing van röntgenbuis en film plaats met mechanische middelen. Hierdoor was een aanpassing aan de grootte van de tandboog slechts in beperkte mate mogelijk. In de huidige apparatuur wordt gebruik gemaakt van computergestuurde stappenmotoren, die een zeer gevarieerde aansturing van het vereiste bewegingspatroon mogelijk maken. Deze apparatuur wordt daarom gekenmerkt door een groter aantal programma's voor diverse diagnostische doeleinden, zoals partiële panoramische opnamen, opnamen van het kaakgewricht, van de sinus en soms ook opnamen in dwarsrichting van onder- en bovenkaak.



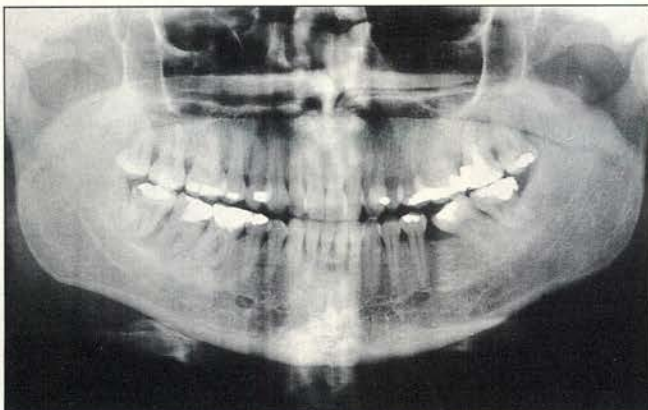


Afb. 1. Het principe van tomografie. Röntgenbuis en film bewegen in tegengestelde richting rondom de patiënt. In het rotatiepunt van de bundel is de afbeelding scherp; daarbuiten worden structuren door bewegingsonscherpte vervaagd.

#### 4 Tomografie in het maxillofaciale gebied

Voortbouwend op de apparatuur voor de tandheelkundige panoramische opnametechniek, is er apparatuur ontwikkeld waarmee tal van opnamen gemaakt kunnen worden die van nut kunnen zijn in de tandheelkundige diagnostiek.<sup>5</sup> Met deze apparatuur kunnen doorsneden gemaakt worden door de onderkaak, de bovenkaak, het kaakgewricht en andere maxillofaciale structuren. Het verschil met de in de vorige paragraaf besproken moderne panoramische apparatuur is, dat met deze apparatuur de richting van de doorsneden heel nauwkeurig kan worden aangepast aan de vorm van de tandboog of aan het beoogde diagnostische doel. Zo is het bijvoorbeeld mogelijk de richting van de dwarsdoorsnede loodrecht op de tandboog te kiezen, dan wel loodrecht op de kaak, waardoor de opname beter kan worden aangepast aan de diagnostische vraagstelling. Bij opnamen van het kaakopje kan men de richting van de doorsneden aanpassen aan de stand van het kaakopje bij de betreffende patiënt. Deze apparatuur is daardoor geschikt om een optimale opnamerichting te kiezen afhankelijk van de specifieke anatomische kenmerken van een

Afb. 2. Voorbeeld van een panoramische opname. De opname toont een laag uit het maxillofaciale gebied. Door de baan rondom het hoofd van de patiënt die röntgenbron en film beschrijven, wordt de wervelkolom links, rechts en (vaag) in het midden van de opname afgebeeld.



bepaalde patiënt. Het spreekt vanzelf dat de prijs van deze apparatuur daardoor ook een veelvoud is van die van 'conventionele' panoramische toestellen.

#### 5 CT en MRI

In de jaren zestig werd de mogelijkheid geïntroduceerd röntgenbeelden elektronisch (digitaal) vast te leggen en met behulp van de computer verder te bewerken.<sup>6</sup> Dit heeft geleid tot een aanzienlijke uitbreiding van de mogelijkheden van de radiologische beeldvorming. Bij 'Computed Tomography' of CT wordt een groot aantal projecties uit verschillende richtingen gemaakt, waaruit vervolgens een serie doorsneden kan worden gereconstrueerd. Een serie doorsneden bevat informatie over het totale volume dat in de deelprojecties is afgebeeld. In een volgende stap kunnen met behulp van speciale programma-tuur doorsneden in elke willekeurige richting worden gemaakt. Ook is het mogelijk om selectief alleen het bot, alleen de weke delen, of bot en weke delen weer te geven.

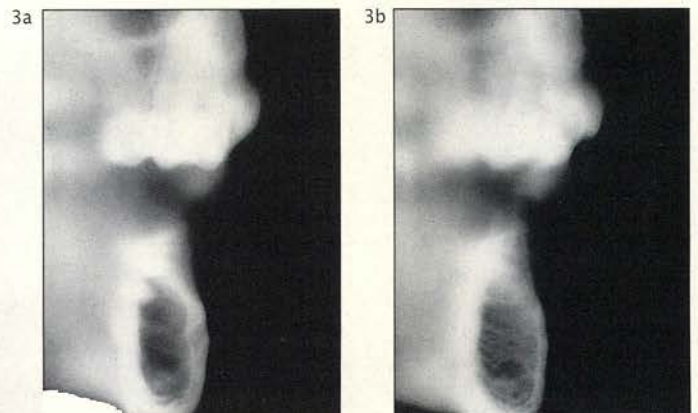
CT kan thans als een routine opnametechniek in de radiologie worden beschouwd. Voor vele diagnostische toepassingen is CT de opnametechniek van eerste keuze. Te denken valt aan diagnostiek van tumoren en van traumata in het hoofd-halsgebied. Met behulp van de tomogrammen kan ook een driedimensionale weergave van organen worden gereconstrueerd, waardoor een nog beter ruimtelijk inzicht wordt verkregen.<sup>7</sup>

In 1982 werd MRI of 'Magnetic Resonance Imaging' (ook wel NMR genoemd als afkorting van 'Nuclear Magnetic Resonance') geïntroduceerd.<sup>8</sup> Deze opnametechniek berust op het meten van radiomagnetische velden; er wordt geen ioniserende straling gebruikt zoals bij röntgenopnamen. Het radiomagnetische veld wordt vooral beïnvloed door weefsels waarin zich veel ongebonden protonen bevinden. Deze protonen kunnen zich onder invloed van een zeer sterk extern magnetisch veld in één richting oriënteren. Bij een tijdelijke wijziging van het externe veld veranderen de protonen van oriëntatie, hierbij wordt energie in de vorm van een radiosignaal uitgezonden. Dit signaal wordt gemeten en gebruikt voor het construeren van een afbeelding van een doorsnede door de patiënt.<sup>9</sup>

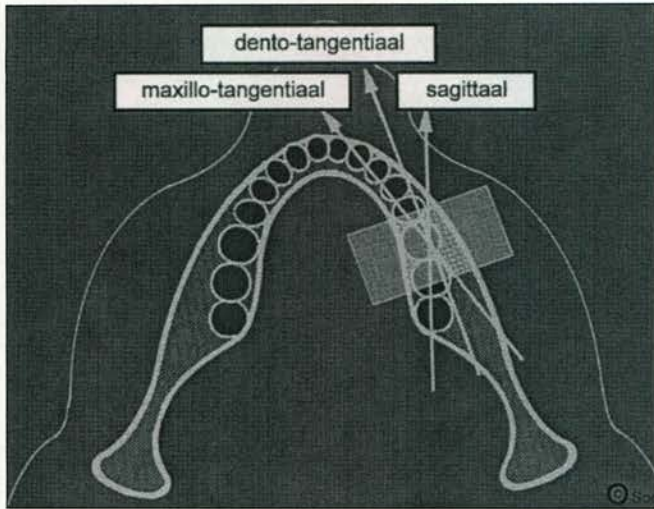
Vooralsnog zijn er geen nadelige effecten aangetoond van het sterke radiomagnetische veld waaraan de patiënt wordt blootgesteld; in dit opzicht lijkt MRI dus minder risico's met zich mee te brengen dan CT en andere röntgentechnieken.

Na het stadium van de acquisitie van de beeldinformatie, waarvoor magnetische in plaats van ioniserende straling

Afb. 3. Voorbeeld van tomogrammen van de mandibula (Scanora-opnamen). Op afb. 3a is het foramen mentale waarneembaar. Op afb. 3b zijn de ligging van de canalis mandibularis en de vorm van de processus alveolaris goed te beoordelen.







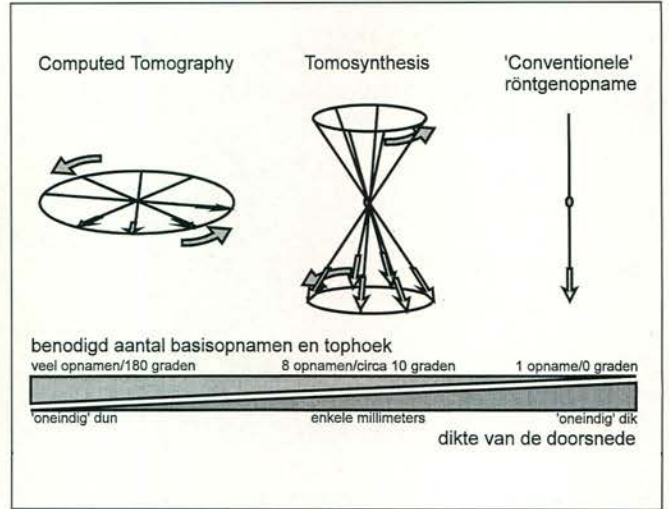
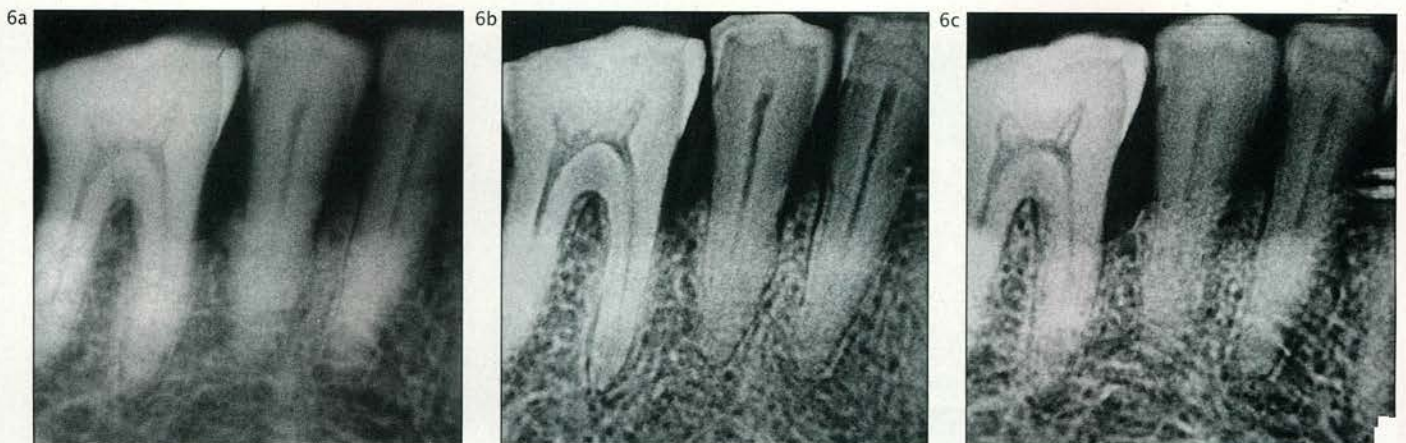
Afb. 4. Aanpassing van de richting van een tomogram aan de tandboog of aan de kaak, afhankelijk van de diagnostische vraagstelling.

wordt gebruikt, vertoont MRI sterke overeenkomsten met CT in de wijze waarop de beeldreconstructie plaatsvindt. Een belangrijk verschil tussen beide technieken is echter dat bij CT de nadruk ligt op de harde weefsels (absorptie van röntgenstraling in de gemineraliseerde structuren) en bij MRI op de zachte weefsels (verstoring van het magnetische veld in weefsels met veel protonen). De technieken zijn daardoor min of meer aanvullend. Sommige afwijkingen zijn slechts met één van beide technieken goed zichtbaar te maken; bij andere afwijkingen vullen de CT- en MRI-beelden elkaar aan voor het stellen van een betrouwbare diagnose.

## 6 Computerreconstructies voor tandheelkundige toepassingen

Ook voor toepassing in de radiodiagnostiek van afwijkingen in het maxillofaciale gebied zijn toepassingen ontwikkeld die gebaseerd zijn op computerondersteunde reconstructie van digitale röntgenbeelden. Allereerst is dit de techniek die wordt aangeduid met de naam tomosynthesis; recentelijk is ook de reconstructie geïntroduceerd van doorsneden volgens het principe van CT, maar dan aangepast aan de gedetailleerdheid die nodig is om tanden en omgevende structuren af te beelden.

Afb. 6. Doorsneden gemaakt volgens het principe van tomosynthese. 6a: één van de originele projecties. 6b: doorsnede door het midden van de mandibula. 6c: doorsnede door de linguale zijde van de mandibula. Let op het verschil in bothoogte en de vorm van de pulpasten op de twee doorsneden ten opzichte van elkaar en ten opzichte van de originele projectie.



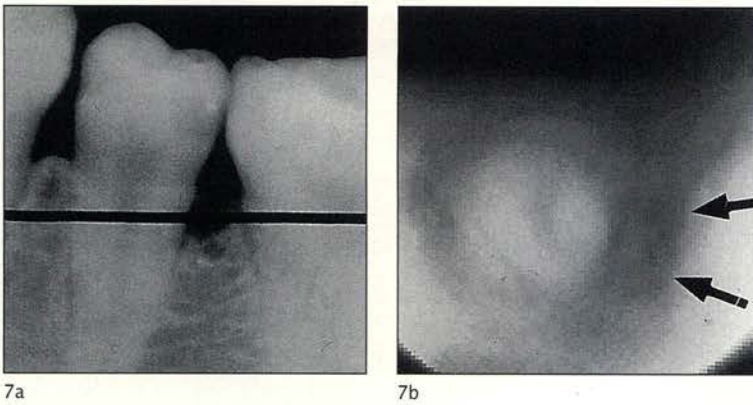
Afb. 5. Het continuüm van conventionele projectietechniek, tomosynthese en CT, en de meest opvallende kenmerken van elk van deze technieken.

### 6.1 Tomosynthesis

In feite is de opnametechniek volgens het principe van de tomosynthese een techniek die zich tussen de conventionele projectietechniek enerzijds en CT anderzijds bevindt.<sup>10</sup> Bij tomosynthese maakt men gebruik van een beperkt aantal basisprojecties die gemaakt zijn met een klein onderling verschil in de richting van de röntgenbundel (bij CT is de onderlinge hoek maximaal, namelijk 180°, en bij een conventionele projectieopname is er nog maar één opnamerichting, ofwel een hoek van 0°).<sup>11</sup> Als gevolg hiervan zijn de doorsneden bij tomosynthese dikker dan bij CT, maar minder dik dan bij een gewone projectieopname (hierbij is de dikte in principe oneindig: er is geen informatie meer over de derde dimensie).

Onlangs is er apparatuur geïntroduceerd voor het maken van tomosynthese-opnamen onder de naam TACT: 'Tuned Aperture Computer Tomography'.<sup>12</sup> In deze apparatuur wordt gebruik gemaakt van een set van acht röntgenbuizen die kort na elkaar worden ingeschakeld om de acht basisprojecties te vervaardigen. De röntgenbeelden worden vastgelegd op een digitale intra-orale sensor. De verwerking van de gegevens en de constructie van de doorsneden vinden plaats in een personal computer.





Afb. 7 Doorsneden vervaardigd door middel van microCT. 7a: één van de basisprojecties die gebruikt is voor het reconstrueren van microCT doorsneden. In de opname is aangegeven op welke hoogte de doorsnede van afb. 7b is gemaakt. Distal van het middelste element (rechts op de afbeelding) is een parodontaal botdefect aanwezig. 7b: een microCT reconstructie. Duidelijk is het wortelkanaal te zien in het midden van de wortel alsmede de parodontale spleet rondom de wortel. De lichte gebieden links en rechts op de afbeelding worden veroorzaakt door de buurelementen. In de distale interdental ruimte (pijlen) is de bucco-linguale uitbreiding van het parodontale botdefect goed te beoordelen.

## 6.2 MicroCT

De CT-opnametechniek heeft ruimschoots toepassing gevonden in de medische radiologie voor het afbeelden van structuren in het hoofd-halsgebied. Het oplossend vermogen is echter niet voldoende om details te kunnen afbeelden in de orde van grootte van bijvoorbeeld het pulpakanaal of de trabekelstructuur van het alveolaire bot. Een recente ontwikkeling in de beeldvorming volgens het principe van CT lijkt echter perspectieven te bieden om dergelijke details ook zichtbaar te kunnen maken. Deze opnametechniek wordt 'localized CT' of 'microCT' genoemd.<sup>13</sup> *In vitro* is de toepasbaarheid reeds aangetoond en verder onderzoek is erop gericht de methode ook geschikt te maken voor opnamen bij patiënten.

Een volgende stap in de ontwikkeling zal zijn dat een serie microCT-doorsneden wordt gecombineerd en gebruikt om het opnamegebied als een 3D-volume af te beelden. Hiermee wordt dan een ruimtelijk beeld gecreëerd van bijvoorbeeld een gebitselement en de omgevende structuren.

## 7 Besluit

Verskillende technieken staan ter beschikking om röntgenologische informatie over de derde dimensie te verkrijgen, die in conventionele projectieopnamen ontbreekt. Afhankelijk van de diagnostische vraagstelling kan men volstaan met globale informatie (bijvoorbeeld in geval van lokalisatie van een geïmpacteerd element), of heeft men een meer gedetailleerd inzicht nodig in de ruimtelijke verhoudingen (zoals bij het bepalen van de beschikbare botmassa voor implantaten). In het eerste geval kan men volstaan met een tweede opname vanuit een andere projectierichting; in het tweede geval is tomografie in een richting dwars op de kaak vereist.

Wanneer men gegevens wil hebben over ruimte innemende processen, dan is een serie doorsneden benodigd. De meest geschikte techniek hiervoor is CT of MRI (afhankelijk van het

soort weefsel of de aard van de afwijking die men verwacht aan te treffen). Voor tandheelkundige toepassingen zal vermoedelijk al in de niet al te verre toekomst gebruik gemaakt kunnen worden van tomosynthese en microCT om gedetailleerde 3D-informatie ter beschikking te krijgen.

## Literatuur

- 1 Dolowy WC, Lind JC. Stereoscopic dental radiography: a practical dental office procedure (technical tip). *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1989; 68: 367.
- 2 Ziedses des Plantes BG. Planigrafie en subtraktie. Utrecht: Rijksuniversiteit, 1934. Academisch proefschrift. Utrecht: Kemink en Zoon, 1934.
- 3 Ziedses des Plantes BG. Selected works of B.G. Ziedses des Plantes. Amsterdam: Excerptia Medica, 1973; 137-40.
- 4 Langland OE, Langlais RP, McDavid WD, Delbalso AM. Panoramic radiology. 2e druk. Philadelphia: Lea & Febiger, 1989.
- 5 Tammissalo E, Hallikainen D, Kanerva H, Tammissalo T. Comprehensive oral x-ray diagnosis: Scanora (R) multimodal radiography. *Dentomaxillofac Radiol* 1992; 21: 9-15.
- 6 Hounsfield GN. Computerized transverse axial scanning (tomography). I. Description of the system. *Br J Radiol* 1973; 46: 1016-22.
- 7 Herman GT, Coin CG. Three-dimensional display of human organs from computed tomograms. *Comput Graph Image Process* 1979; 9: 1-21.
- 8 Crooks L, Arakawa M, Hoenninger J, et al. Nuclear magnetic resonance whole-body imager operating at 3.5 K gauss. *Radiology* 1982; 143: 169-74.
- 9 Mooyart EL. Magnetic Resonance Imaging. Principes en enkele toepassingen in het hoofd-halsgebied. *Ned Tijdschr Tandheelkd* 1993; 100: 291-3.
- 10 Grant DG. Tomosynthesis: a three-dimensional radiographic imaging technique. *IEEE Trans Biomed Eng* 1972; 19: 20-8.
- 11 Stelt PF van der, Ruttimann UE, Webber RL, Groenhuis RAJ. A procedure for reconstruction and enhancement of tomosynthetic images. *Dentomaxillofac Radiol* 1986; 15: 11-8.
- 12 Webber RL, Horton R, Underhill T. Tuned-aperture computed tomography for diagnosis of crestal defects around implants. *J Dent Res* 1995 (AADR-Abstracts); 74: 18.
- 13 Stelt PF van der, Dunn SM. Micro-CT in maxillofacial imaging. In: Lemke HU, Inamura K, Jaffe CC, Vannier MW, red. *Computer assisted radiology*. Berlijn: Springer-Verlag, 1995: 1028-32.

## Summary

### DENTAL TOMOGRAPHY WITHIN REACH

Key words: Radiology – Dental tomography

The conventional radiograph is the 2D-projection of a 3D-object. Therefore, information about the third dimension is missing. Various x-ray techniques are available to obtain information about the third dimension. Depending on the diagnostic purpose, global information can be obtained by a second radiograph taken with a different angulation (for instance, to localize an impacted tooth). However, sometimes more detailed information is required about the spatial relationship (for instance, when determining the amount of bone mass in implant planning). CT and MRI are the most appropriate techniques when complete volume information is required. In the near future, tomosynthesis and microCT will become available to obtain detailed 3D-information for dental applications.