

TANDHEELKUNDIGE RADIOLOGIE: ONTWIKKELINGEN IN DE PRAKTIJK*)

SAMENVATTING

Radiodiagnostiek kan worden gezien als een keten van activiteiten en processen. Onderdelen hiervan zijn onder meer de productie van straling in het röntgenapparaat, de verzwakking van de straling in het af te beelden object en de resulterende dosis voor de patiënt, de registratie van het röntgenbeeld en de perceptie en interpretatie van dit beeld.

Het onderzoek in een universitaire afdeling Tandheelkundige Radiologie, zoals die van het Academisch Centrum Tandheelkunde Amsterdam, beweegt zich op het terrein van de dosimetrie en van de beeldverwerking. Het dosimetrisch onderzoek is erop gericht de gewenste diagnostische informatie te verkrijgen bij een minimale stralenbelasting voor de patiënt. Op het gebied van de beeldverwerking wordt ernaar gestreefd de interpretatie van de röntgenbeelden te objectiveren en te kwantificeren.

Uit het dosimetrische onderzoek is gebleken dat een intensieve voorlichting van de tandarts ten aanzien van nieuwe ontwikkelingen in de radiologische procedures de dosis in de praktijk aanzienlijk kan verlagen. In het kader van computer-ondersteunde beeldverwerking zijn reeds enige procedures ontwikkeld voor het automatisch herkennen en beschrijven van afwijkingen welke op röntgenopnamen worden weergegeven.

VAN DER STELT PF. Tandheelkundige radiologie: ontwikkelingen in de praktijk. Ned Tijdschr Tandheelkd 1987; 94: 306-11.

P. F. van der Stelt, tandarts

Uit de afdeling Tandheelkundige Radiologie van het Academisch Centrum Tandheelkunde Amsterdam.

Trefwoorden: Radiologie - Dosimetrie - Beeldverwerking

Datum acceptatie: 9 maart 1987.

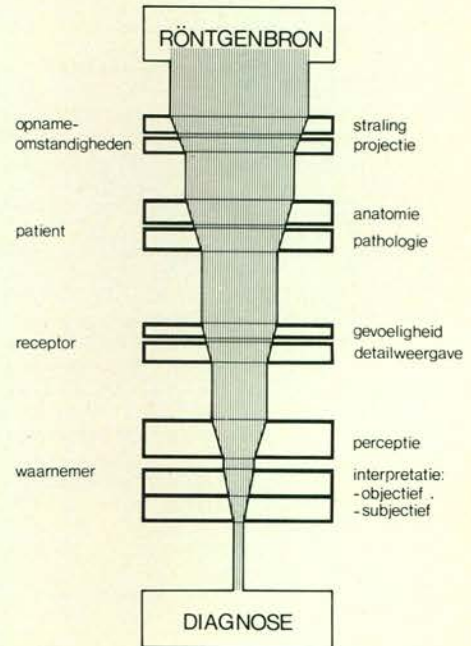
Adres: Prof. Dr. P. F. van der Stelt, postbus 7161, 1007 MC Amsterdam.

1. INLEIDING

In het vakgebied van de radiologie, en daarmee ook van de tandheelkundige radiologie, hebben zich de laatste decennia stormachtige ontwikkelingen voorgedaan. Deels hebben deze ontwikkelingen betrekking op de wijze waarop röntgenbeelden worden verkregen en gereconstrueerd, bij voorbeeld met behulp van de zogenaamde CT-scanners (computer tomografie). Anderzijds echter wordt er voor de beeldvorming meer en meer gebruik gemaakt van andere vormen van straling dan de bekende röntgenstraling. Als voorbeelden hiervan kunnen genoemd worden de afbeeldingstechnieken die gebruik maken van ultrasoontrillingen (ultrageluid is overigens geen straling in de fysische zin van het woord) en de NMR-techniek (Nuclear Magnetic Resonance of Kernspinresonantie-techniek), maar er bestaan nog meer beeldtechnieken in een al toepasbaar of in een experimenteel ontwikkelingsstadium welke niet berusten op röntgentechnieken. Omdat er voor diagnostische doeleinden tegenwoordig gebruik gemaakt wordt van veel meer stralingsmodaliteiten dan alleen de 'conventionele' röntgenstraling, is de benaming 'Röntgenologie' niet langer vol-

ledig voor het vakgebied dat zich richt op het maken van afbeeldingen van afwijkingen in structuur en functioneren van het lichaam. Meer en meer geeft men de voorkeur aan de benaming 'Radiologie'; men houdt zich niet langer alleen maar bezig met röntgendiagnostiek, maar meer in het algemeen met radiodiagnostiek. Ook in de tandheelkunde is deze naamswijziging algemeen geaccepteerd, waarbij men soms ook wel spreekt van dento-maxillo-faciale radiologie, om meer exact de gebieden aan te geven waarop de aandacht is gericht.

De huidige situatie in de tandheelkundige radiologie kenmerkt zich door een grote discrepantie tussen de technische mogelijkheden en de praktische uitvoering van de radiodiagnostische procedures. Deze omstandigheden kunnen ertoe leiden dat de invoering van modernere technieken in de praktijk wordt bemoeilijkt. Tevens ontstaat er het gevaar dat nieuwe ontwikkelingen minder op vraagstellingen uit de praktijk zijn gericht dan wenselijk is. Het invoeren van nieuwe radiologische technieken heeft slechts zin indien de gebruikers, of minstens de potentiële gebruikers (dat zijn dus in dit geval de tandartsen), de conventionele radiologische procedures naar behoren kunnen uitvoeren. Het heeft weinig zin uitgebreide onderzoeken te doen naar de 'modulation transfer function' van hoogfrequent gefilterde beelden verkregen met digitale 'real-time receptors', wanneer het verband tussen belichting en zwarting in de dagelijkse praktijk voor te veel tandartsen nog een gok in het



Afb.1. Schematische voorstelling van de procesgang van röntgenbron tot diagnose met aanduiding van een aantal stadia welke bepalend zijn voor het eindresultaat.

duister van de donkere kamer is. Want ook de meer geavanceerde procedures zijn vaak gebaseerd op algemene radiologische principes bekend uit de conventionele radiologie.

Radiodiagnostiek kan worden gezien als een keten van handelingen en bewerkingen waarvan elke schakel een essentiële bijdrage levert aan een effectief gebruik van

*) Bewerking van een rede gehouden ter gelegenheid van de aanvaarding van het ambt van hoogleraar in de Tandheelkundige Radiologie in de Faculteit der Geneeskunde/Subfaculteit der Tandheelkunde van de Vrije Universiteit te Amsterdam.

de straling ten dienste van de diagnostiek (afb. 1). Effectief betekent hier dat de dosis voor de patiënt zo laag mogelijk dient te zijn in verhouding tot de te maken opname. Het betekent echter ook dat de opbrengst aan diagnostische informatie zo hoog mogelijk moet zijn in verhouding tot de gebruikte stralingsdosis. Stralingshygiëne en röntgeninterpretatie zijn twee aspecten welke in elkaars verlengde liggen en binnen de radiodiagnostiek onlosmakelijk met elkaar verbonden zijn.

Enkele aspecten van de radiodiagnostische procesgang zullen in het nu volgende nader worden verduidelijkt; ook zal een aantal voorbeelden worden gegeven van de invulling van dit kader binnen een universitaire afdeling Tandheelkundige Radiologie. Het zal blijken dat een belangrijk kenmerk van de activiteiten op dit terrein is, dat er gebruik wordt gemaakt van de inbreng van verschillende, ook niet-tandheelkundige disciplines.

2. DE RADIODIAGNOSTISCHE PROCESKETEN

Het foton als middel van energietransport speelt een belangrijke rol in de radiologie. In verschillende fasen van de keten van röntgenbron via patiënt tot diagnose is het foton een onmisbare schakel. Het foton is, net als het elektron en andere nucleaire en atomaire deeltjes, de symbolische materialisatie van energie. Op deze wijze is de röntgenbundel dan ook te beschrijven als een stroom fotonen op weg naar de patiënt.

De röntgenstraling welke in de vorm van fotonen het röntgenapparaat verlaat, treedt in wisselwerking met de omgeving en het object, de patiënt waarvan de röntgenopname vervaardigd moet worden. Deze interactie is te beschrijven in fysische termen. Voorbeelden van dit aspect zijn de wijze waarop de energie van de röntgenbundel wordt overgedragen aan elektronen, atomen en moleculen, de verzwakking van de röntgenbundel (ten gevolge van het passeren van materie of door het afleggen van een bepaalde afstand) en de intensiteit van de straling, de gemiddelde energie en de verdeling van energieniveaus (het stralenspectrum). Al deze factoren hebben directe invloed op de kwaliteit van het uiteindelijk röntgenbeeld.

In de medische en de tandheelkundige radiologie moet vanzelfsprekend de aandacht voor de patiënt als biologisch organisme worden genoemd en dat nog niet eens alleen vanwege het diagnostische doel van de radiologie. Hier zijn het de biologie en vooral de stralingsbiologie en genetica die hun bijdrage leveren aan het vakgebied der radiologie. Het is bekend dat levend weefsel nadelige effecten kan ondervinden ten gevolge van straling. Het zijn deze nadelige effecten die de laatste decennia in belangrijke mate de aandacht

hebben genoten, zowel van onderzoekers als van patiënten. Wellicht nog het minst van degenen die de straling toepassen: artsen en tandartsen.

Wanneer de straling de patiënt passeert op weg naar de röntgenfilm, kunnen we de kaak van de patiënt niet alleen zien als diagnostisch doel, maar ook als fysisch middel om tot een röntgenbeeld te komen. Factoren die hierin een rol spelen, zijn de mate waarin de straling geabsorbeerd wordt in het weefsel van de patiënt, hoeveel straling er verstrooid wordt en in welke richtingen en in hoeverre de resterende straling veranderingen teweegbrengt in de gevoelige laag van de röntgenfilm. Lange tijd zijn dit de onderwerpen bij uitstek geweest voor het onderzoek in de radiologie. Samen met de noodzaak van het afbeelden van de zeer gedetailleerde structuren die een rol spelen in de tandheelkundige diagnostiek heeft dit er onder meer in geresulteerd dat tandheelkundige films thans behoren tot de beste voor wat betreft de detailweergave binnen de geneeskunde, al moet gezegd worden dat dit ten koste gaat van een efficiënt gebruik van de opvallende röntgenstraling.

Er is veel onderzoek verricht naar methoden om deze detailweergave nog verder te verbeteren, zowel wat betreft de contrastweergave als de scherpte in de afbeelding van contouren. Om twee redenen echter is het niet langer zinvol dit gebied te exploreren, zeker voor het komende decennium. Alhoewel een weergave van details op de foto natuurlijk van belang is, is het inmiddels ook gebleken dat de waarneming hiervan door de arts of tandarts die de foto's interpreteert in zulke mate de beperkende factor in het geheel is, dat een verdere verbetering van de kwaliteit van de foto – althans de op conventionele wijze verkregen foto – geen zin heeft. Het is zelfs aantoonbaar, al zullen de meeste tandartsen dit niet voetstoots willen aannemen, dat binnen zekere grenzen dezelfde diagnostische resultaten bereikt kunnen worden met een foto die minder contrast vertoont en een hogere signaal-ruisverhouding heeft vergeleken met wat thans gebruikelijk is. De winst is dan gelegen in de lagere dosis voor de patiënt. Voorwaarde voor het kunnen gebruiken van foto's van zogenaamd 'mindere kwaliteit' is wel dat de tandarts deze foto's leert lezen en inzicht heeft in de relatie tussen het radiologische beeld en de gewenste diagnostische informatie.

Het voorgaande had vooral betrekking op contrasten in de foto. Perceptueel belangrijker voor de diagnostiek zijn de contouren. Hoe de contouren van structuren van de patiënt zich afbeelden op de röntgenfoto, wordt in belangrijke mate bepaald door de projectie. De richting die de röntgenbundel heeft door de patiënt op weg naar de film bepaalt hoe de details van het

gebied waar de belangstelling naar uitgaat, zich projecteren op de röntgenfilm. De bruikbaarheid van een röntgenbeeld wordt in sterke mate bepaald door de detailweergave, dat wil zeggen de relatie tussen de weergave van contrasten en contouren. Maar bij de röntgenprocedure, zoals die thans in de tandheelkunde gebruikelijk is, zijn niet de contrasten de beperkende factor. Zelfs niet de detailscherpte als theoretisch getal van lijnparen per millimeter die door de film kunnen worden weergegeven. Het is eerder de projectierichting die een essentiële invloed blijkt te hebben op de diagnostische bruikbaarheid van röntgenopnamen.¹ Het onderzoek dat zich met de effecten van variaties in de projecties bezighoudt, heeft een binding met de klinische tandheelkunde, niet alleen omdat hier de relevante vraagstellingen vandaan moeten komen, maar ook vanwege de kennis omtrent de driedimensionele vorm van de structuren van het tand-kaakstelsel in het bijzonder en het hoofd-halsgebied in het algemeen. Er zijn duidelijke relaties hierdoor tussen de tandheelkundige radiologie enerzijds en de anatomie en de al dan niet specialistische geneeskunde en tandheelkunde anderzijds.

De gebeurtenissen welke een subatomaire aanvang namen, toen elektronen de focus van de röntgenbuis bombardeerden, strekken zich uit tot ver voorbij de röntgenfilm, zelfs tot voorbij de röntgenfoto als men op deze wijze onderscheid wil maken tussen het nog niet ontwikkelde stralingsgevoelige materiaal en het na de belichting verder bewerkte beelddragende materiaal. Daarom zal ook aandacht gegeven moeten worden aan het vervolg van het traject waarbij ook weer fotonen een rol spelen. Het is hier dat de meest spectaculaire ontwikkelingen zich thans voordoen in de radiologie.

Er is al op gewezen dat het op de juiste wijze lezen van een röntgenfoto ook afhankelijk is van de instelling van degene die de foto leest, dat is 'de waarnemer' in het gebruikelijke jargon. Hier is met recht een multidisciplinaire benadering noodzakelijk om vast te stellen welke processen er plaatsvinden. De fysica, psychofysiologie, psychologie, informatica en ook nog de tandheelkunde, leveren de bouwstenen die de afstand tussen foto en diagnose kunnen overbruggen. Want wat is hier gaande?

Het beeld van de röntgenfoto wordt bekeken door de waarnemer, meestal door de foto op een lichtbak te leggen. De in de lichtbak geproduceerde fotonen, of in meer dagelijkse taal het licht dat uit de lichtbak komt, passeert de röntgenfoto en bereikt het oog van de waarnemer. De lichte en donkere gebieden van de foto resulteren begrijpelijkerwijs in meer en minder licht op corresponderende gebieden van het netvlies van de waarnemer.

Tot zover is het een eenvoudig fysisch proces. Nadat het netvlies door het licht is getroffen, worden de hieruit resulterende impulsen via de nervus opticus en andere zenuwbanen naar verschillende gebieden in de hersenen geleid. Het zou nu te eenvoudig klinken om te zeggen dat er vervolgens een interpretatie van de foto wordt gegeven, of zelfs een diagnose gesteld. Want het is een enorme sprong van elektrische zenuwpulsen tot de uitspraak 'u heeft cariës'. Het proces is ingewikkelder.

De verwerking van de stimuli die het netvlies heeft ontvangen vindt plaats op verschillende niveaus en in diverse gebieden van de hersenen. Allereerst worden de impulsen van het netvlies die overgebracht zijn naar de hersenen, omgezet in elementaire beeldeigenschappen, zoals lijnen en de richting van deze lijnen. In een ander gebied van de hersenen worden deze gegevens samengevoegd tot structuren, welke echter nog steeds zeer eenvoudig te beschrijven zijn, zoals lichte en donkere vlakken. Daarna worden deze elementaire beeldcomponenten samengevoegd tot een geheel. Betekenis krijgt dit echter pas wanneer de waarnemer de verschillende delen van het beeld kan benoemen. Dit benoemen kan zeer basaal zijn, in termen van 'een donkere vlek' of 'een lichte structuur', maar is pas zinvol in de diagnostiek wanneer er een relatie gelegd wordt tussen die donkere vlek en cariës bij de patiënt.

Wat hier in enkele regels is verteld als een logische opeenvolging van stappen die lijken te resulteren in een feilloze diagnose, is in werkelijkheid een uiterst ingewikkeld proces, waarin veel mis kan gaan. Zelfs zo erg mis, dat de waarnemer niet eens weet dat hij een onjuiste conclusie trekt uit de voor hem liggende foto. Het is niet voor niets dat er in de taal een onderscheid is tussen kijken en zien, waaraan in het kader van dit betoog nog toegevoegd kunnen worden de begrippen interpreteren en diagnostiseren. Wie naar een röntgenbeeld kijkt, behoeft nog niet de erop weergegeven contrasten van een radiolucentie te zien. En wie de contouren als die van een radiolucentie interpreteert, zal deze niet altijd als een lokale demineralisatie diagnostiseren. Het is niet verwonderlijk dat de diagnose van bij voorbeeld cariës in deze gevallen wel eens wordt gemist.

Kennis van de processen die plaatsvinden tussen het tijdstip van kijken en het stadium van interpreteren, verkregen door psychologisch en psychofysiologisch onderzoek, kan aanwijzingen geven voor mogelijke verbeteringen in de omstandigheden van waarnemen. Deze verbeteringen zullen vooral gericht zijn op het verminderen van de subjectieve invloeden die een menselijk waarnemer altijd ondervindt in zijn interpretatie. Vooroordeel, vermoedelijkheid, selectieve herinnering: al deze factoren maken dat de interpretatie van een

menselijke waarnemer een variabiliteit vertoont, welke menig patiënt tot zijn nadeel al letterlijk aan den lijve heeft ondervonden.

De radiologie van deze tijd legt een sterke nadruk op het ontwikkelen en toepassen van methoden om de interpretatie van röntgenbeelden objectiever te maken en daarmee meer gestandaardiseerd en reproduceerbaar. Standaardisatie is noodzakelijk om de onderzoekstechnieken gericht te kunnen toepassen. Het resultaat van een opname in de zin van de informatie die deze oplevert over het wel of niet aanwezig zijn van een afwijking moet voorspelbaar zijn. Zonder standaardisatie is elke röntgentechniek bij voorbaat zinloos: een schot in het duister. Reproduceerbaarheid van opnamen is vereist om een opname te kunnen vergelijken met een eerdere opname, zodat de voortgang van een ziekteproces, of juist het genezingsproces als resultaat van een therapie kan worden beoordeeld.

Reeds eerder is vermeld dat de opname-techniek, waaronder in het bijzonder de projectierichting, van grote invloed is op het resultaat van een opname. Het is dus duidelijk dat de opnametechniek gestandaardiseerd en reproduceerbaar moet zijn. Dit is de reden dat het gebruik van de zogenaamde instelapparaten voor het maken van tandheelkundige opnamen als een onmisbaar en verplicht hulpmiddel zijn te beschouwen.

Van even grote betekenis, waarschijnlijk zelfs van grotere betekenis voor de beoordeling en interpretatie van röntgenbeelden, zijn de technische mogelijkheden die de micro-elektronica geeft.

Allereerst moet hier genoemd worden de mogelijkheid om voor het vastleggen van röntgenbeelden geen conventionele film te gebruiken, maar elektronische receptoren. Een evident voordeel van deze techniek is dat de beelden 'real-time', dat wil zeggen op het moment van opname, ter beschikking staan. De besommeringen van het ontwikkelen zijn daarmee verleden tijd.

Vervolgens echter kunnen de elektronisch vastgelegde beelden relatief gemakkelijk ook zodanig worden bewerkt dat er een verbetering van het contrast en van andere beeldkenmerken wordt bereikt. Zo wordt een resultaat verkregen dat met conventionele filmmaterialen alleen met zeer veel moeite of zelfs in het geheel niet te verwezenlijken is. Dit is bij voorbeeld het geval bij de reconstructie van driedimensionele beelden uit tweedimensionele opnamen. Op dit onderzoeksterrein vindt er een duidelijke samenwerking plaats met fysici en informatici.

Nog verder gaan de mogelijkheden. De eenmaal elektronisch verkregen en opgeslagen beelden kunnen met behulp van de computer worden geanalyseerd. Op deze

wijze wordt in optimale vorm getracht de subjectiviteit van de menselijke waarnemer als ongewenst effect uit te sluiten. Details, die kenmerkend zijn voor afwijkingen, kunnen worden geaccentueerd bij de weergave van het röntgenbeeld op de monitor. Er kan kwantitatieve informatie gegeven worden over het beeld met een nauwkeurigheid die met het blote oog niet haalbaar is. Wanneer de computer verteld wordt welke criteria bepalend zijn voor pathologische verschijnselen, kan zelfs een vorm van diagnose door de computer worden gesteld. Mits de criteria juist waren geformuleerd. Want op dit terrein, ook wel dat van de Kunstmatige Intelligentie genoemd, gaat de computer in sommige opzichten een sprekende gelijkenis vertonen met de menselijke waarnemer: wat niet juist geformuleerd is, wordt niet correct 'geleerd' en wordt dus verkeerd gereproduceerd. Of zoals het Amerikaans kernachtig zegt: 'Garbage in, garbage out'. Het is in dubbel opzicht een uitdaging voor het onderzoek op dit gebied om de juiste informatie in de computerprogrammatuur te verwoorden. Enerzijds is het een noodzaak voor de technici om deze methodiek als hulpmiddel in de diagnostiek te kunnen ontwikkelen. Anderzijds dwingt het de clinici tot een nauwkeurige evaluatie van de criteria die de menselijke waarnemer gebruikt in het proces van interpreteren en diagnostiseren, hetgeen een onthullende en leerzame bezigheid kan zijn. Een goede samenwerking van de radiologie voor het aandragen van de criteria en de informatica voor het verwerken van deze criteria is een essentiële voorwaarde voor het ontwikkelen van deze digitale technieken en methoden.

Hoezeer hier met recht gesproken kan worden van een ontwikkeling moge blijken uit het grote aantal röntgenopnamen (en ook opnamen met andere vormen van energie zoals kernspinresonantie of NMR) dat in de medische radiologie tegenwoordig in gedigitaliseerde vorm plaatsvindt.

Daarnaast is door de computertechnologie een aantal 'imaging'-technieken mogelijk geworden welke een ware revolutie betekenen ten opzichte van de conventionele technieken die zijn gebaseerd op film. Te vermelden zijn bij voorbeeld de wellicht al klassiek te noemen computertomografie en de NMR. Laatstgenoemde techniek zal in de tandheelkundige diagnostiek specifiek een rol kunnen spelen bij patiënten met ontwikkelingsstoornissen en kaakgewrichtsafwijkingen. In de dagelijkse praktijk van de tandarts zijn computerondersteunende beeldtechnieken weliswaar nog geen routine, maar de eerste systemen voor tandheelkundig gebruik zijn in gevorderde staat van ontwikkeling of reeds gepresenteerd.

Het lijkt geen twijfel dat digitale opname- en beeldverwerkingstechnieken ook

in de tandheelkunde binnen afzienbare tijd routinematig zullen worden toegepast, ter verbetering van de kwaliteit van de diagnostische beelden en voor beeldreconstructie, gericht op het verkrijgen van een geheel nieuwe klasse van informatie. Een betere behandeling van de patiënt door een beter gefundeerde en meer betrouwbare diagnose is dan mogelijk.

3. ONDERZOEK IN DE TANDHEELKUNDIGE RADIOLOGIE

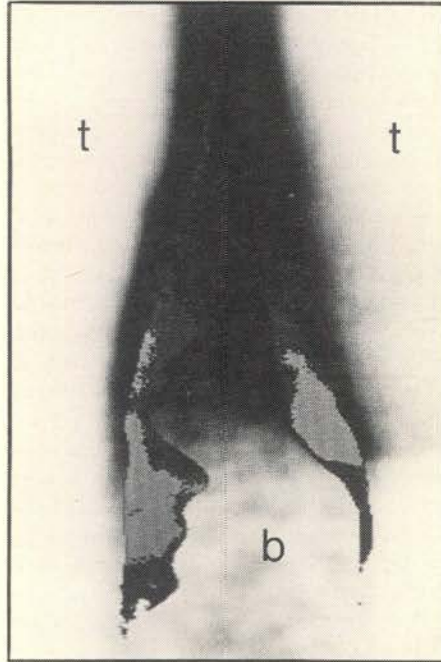
Het moge duidelijk zijn uit het voorgaande, dat het vakgebied der radiologie gekarakteriseerd wordt door een sterk interdisciplinaire benadering. Tevens dat er een logische samenhang bestaat tussen de verschillende stadia in de productie en verwerking van röntgenbeelden. En het begrip 'verwerking' is dan zowel materieel als intellectueel op te vatten.

Ter illustratie hiervan zullen enige voorbeelden worden gegeven van onderzoek dat plaatsvindt in de afdeling Tandheelkundige Radiologie van het Academisch Centrum Tandheelkunde Amsterdam.

3.1. Dosimetrie

Het eerste voorbeeld betreft het terrein van de dosimetrie. De dosimetrie houdt zich bezig met het meten van de stralingsdosis verbonden aan het maken van röntgenopnamen en de effecten daarop van veranderingen in de opname-omstandigheden. Als zodanig vormt de dosimetrie een belangrijke ondersteuning voor de stralingshygiëne, het geheel van maatregelen om de stralenbelasting voor de patiënt en de bediener van het röntgenapparaat zo

laag te doen zijn als redelijkerwijs haalbaar is. Het onderzoek in dit kader had en heeft betrekking op het bepalen van de stralenbelasting als rechtstreeks gevolg van de tandheelkundige radiodiagnostiek, zowel voor het individu als voor de populatie. Daartoe is in eerste instantie door middel van fantoommetingen de dosisverdeling in het lichaam bepaald voor diverse opname-technieken welke gangbaar zijn in het hoofd-halsgebied. Uit de resultaten van dit



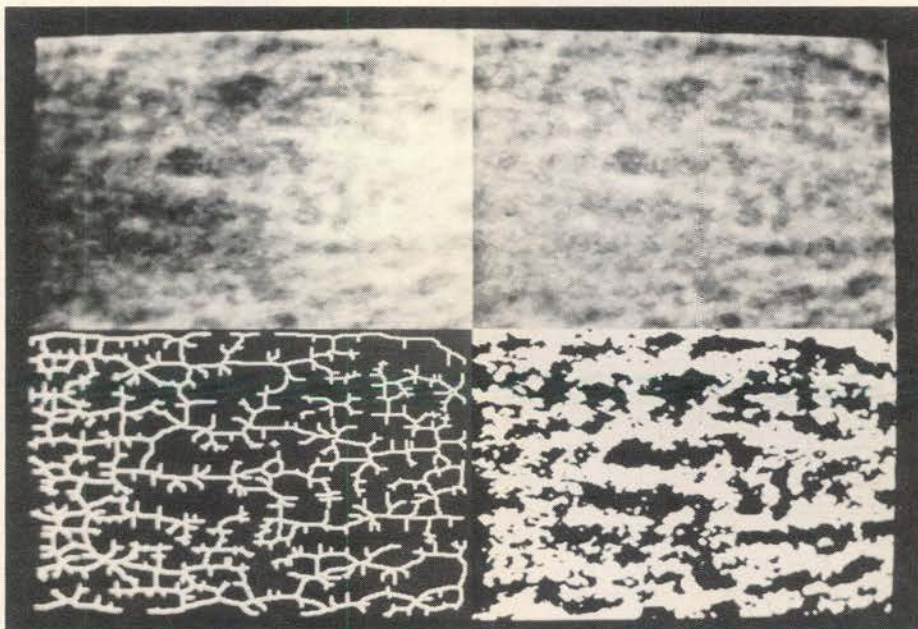
Afb. 2. Angulaire parodontale botdefecten, zoals deze met behulp van digitale technieken kunnen worden geanalyseerd en weergegeven (t = tand, b = interdentaal bot).

onderzoek zijn indirect de relatieve stralingsrisico's van de verschillende röntgenopnametechnieken afgeleid.²

Vervolgens is een project opgezet om een overzicht te verkrijgen van welke apparatuur, opname-omstandigheden en röntgentechnieken voorkomen in de tandheelkundige praktijken in Nederland op basis van een steekproef onder 1200 tandartsen. Aan de hand van de hieruit verkregen gegevens wordt thans een schatting gemaakt van het populatierisico. De voorlopige resultaten rechtvaardigen alleszins een vervolg van dit project. De goede tandartsen niet te na gesproken, blijkt dat er zonder grote financiële consequenties nog aanzienlijke verbeteringen mogelijk zijn in de uitvoering van de tandheelkundige radiodiagnostiek.^{3,4} Weliswaar zijn er in de gezondheidszorg toepassingen van straling die een grotere stralingsbelasting voor de populatie betekenen, maar volgens de richtlijnen van de International Commission on Radiological Protection, waaraan ook de Nederlandse wetgeving zich conformeert, moet gestreefd worden naar een redelijkerwijs zo laag mogelijke dosis. Ervaringen in Japan, de Verenigde Staten en Engeland wijzen erop dat goede resultaten worden bereikt door een intensievere voorlichting van de tandarts na zijn afstuderen ten aanzien van de technische ontwikkelingen op het gebied van de radiologie. Een vergelijkbaar effect is gevonden bij het verrichten van eenvoudige dosismetingen in de praktijk van de tandarts en door het geven van feed-back aan de tandarts op zijn inspanningen tot stralingsreductie. Een voortzetting van het onderzoek in deze richting is daarom uiterst zinvol.

3.2. Beeldverwerking en patroonherkenning

Een ander terrein dat als illustratie kan dienen is dat van de beeldverwerking en patroonherkenning. Globaal gesproken is het doel van dit onderzoeksgebied het zodanig bewerken van röntgenbeelden dat de daarin vervatte informatie wordt geïsoleerd van relevante details in het beeld en weergegeven op een manier die een verbetering betekent vergeleken met de normale menselijke interpretatie. Zoals eerder uiteengezet kan de bewerking plaatsvinden op een basaal niveau, bij voorbeeld in de vorm van contrastverbetering, maar kan deze ook meer gecompliceerde vormen aannemen, zoals het geautomatiseerd herkennen van details en structuren of het reconstrueren van beelden met een toegevoegde waarde. Verschillende resultaten, welke met recht innovierend genoemd mogen worden, zijn inmiddels door deze onderzoeksinspanningen bereikt. Zo is er een methode ontwikkeld voor de automatische herkenning en beschrijving van de rönt-



Afb. 3. Enkele stadia in de digitale bewerking van het trabekelpatroon, op basis waarvan een kwantitatieve beschrijving van het bot kan worden gegeven.

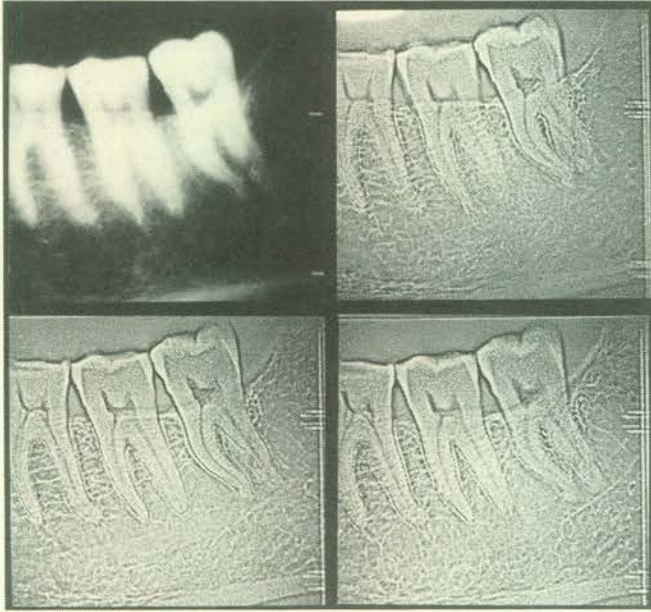
genbeelden van angulaire parodontale botdefecten (afb. 2).⁵ Met deze methode kan een zuiver objectieve en betrouwbaardere kwantitatieve diagnostiek worden beoefend, welke op de conventionele manier (met het blote oog) niet uitvoerbaar is. Recentelijk is een onderzoek afgesloten waarin de resultaten van de computer-ondersteunde methode zijn vergeleken met hetgeen menselijke waarnemers wisten te bereiken. Het bleek dat de computerme-

den bij vrouwen rondom de menopauze. Nader onderzoek is nog nodig, maar reeds nu kan met grote zekerheid worden gezegd dat de computermethode een deel van het dure of voor de patiënt oncomfortabele onderzoek dat thans wordt uitgevoerd om een indruk te krijgen van de botstructuur, lijkt te kunnen vervangen.

Op het terrein van de reconstructie en synthese van twee- en driedimensionele röntgenbeelden kan de techniek van de

zaken kunnen optreden, zeer weinig wijzigt in de loop van het leven.⁷ Van dit verschijnsel is gebruik gemaakt om het trabekelpatroon te hanteren als een soort vingerafdruk. Met computer-ondersteunde technieken is het mogelijk gebleken de identiteit van een onbekend individu vast te stellen door vergelijking van een deel van een röntgenfoto van de kaak van het onbekende individu, met die van personen met bekende identiteit die mogelijk overkomen met het onbekende individu.⁸ Ook hier weer maakt de digitale techniek op een volstrekt nieuwe manier gebruik van de röntgeninformatie, vergeleken met de wijze waarop het oog het beeld interpreteert.

Reeds meerdere malen is het begrip 'de menselijke waarnemer' gebruikt. Wat hieronder verstaan moet worden is in theoretische zin al eerder uiteengezet in het deel dat betrekking had op de verwerking van visuele stimuli in de hersenen. Een concretisering hiervan is te vinden in het onderzoek naar oogbewegingen dat binnen de afdeling aandacht heeft. Door middel van speciale apparatuur kunnen oogbewegingen worden geregistreerd en zo de fixatiepunten tijdens het kijkproces worden vastgelegd (afb. 5).^{9,10} De verschillen in het patroon van fixatiepunten tussen beginners en experts of de verschillen in het kijkgedrag die optreden na een bepaalde kijkinstructie geven informatie over welke gebieden in het röntgenbeeld de meest kenmerkende zijn voor het stellen van een diagnose. Kennis hiervan is van belang voor het formuleren van gerichte doelstellingen voor het onderzoek naar technieken van digitale beeldverwerking ten behoeve



Afb. 4. Voorbeeld van drie doorsneden door de mandibula gereconstrueerd volgens het principe van de tomosynthesis. Let onder andere op het verschil in de afbeelding van de wortels van de molaar en van de canalis mandibularis in de verschillende doorsneden.

thode evengoed als of zelfs beter dan menselijke waarnemers in staat was om opnamen van een botdefect dat in de tijd in omvang toenam, op volgorde te sorteren. In elk geval ondervangt de computermethode de spreiding die optreedt in menselijke interpretaties.

Een ander opmerkelijk resultaat van dit onderzoek heeft betrekking op de kwantitatieve informatie van de botstructuur. Bot vertoont op het röntgenbeeld een karakteristiek netwerkpatroon, dat eenvoudig gezegd veroorzaakt wordt door een deel van de botbalkjes of trabekels, vooral die op de overgang van het corticale bot aan de buitenzijde naar het spongieuze bot iets meer inwendig in de beenderen. Dit netwerk op de foto wordt dan ook meestal het trabekelpatroon genoemd, al moet nadrukkelijk gezegd worden dat het patroon niet door alle trabekels in de spongiosa wordt veroorzaakt. Verschillende stofwisselingsziekten en het normale verouderingsproces, vooral bij vrouwen, beïnvloeden de botstructuur en daarmee de trabekels (afb. 3). Het is nu gebleken, dat verschillende parameters die met de computer te ontlezen zijn uit het röntgenologische trabekelpatroon een indruk geven van veranderingen aan het bot, met name die welke optre-

tomosynthesis worden genoemd (afb. 4). Met deze methode zijn tomogrammen te synthetiseren uit een beperkt aantal opnamen (bij voorbeeld acht stuks), waarbij in theorie elke willekeurige doorsnede door het object achteraf kan worden gesynthetiseerd, zelfs onder een andere projectierichting, zonder nieuwe röntgenopnamen te hoeven maken.^{*)}⁶

In dit verband is nog een andere praktische toepassing van digitale beeldverwerking te noemen, welke eveneens betrekking heeft op het trabekelpatroon. Een patroon dat zich, ondanks de wijzigingen in dichtheid en dikte die door allerlei oor-

*)Het verbeteren van deze methodiek, vooral wat betreft de separatie van opeenvolgende doorsneden, vindt plaats in nauwe samenwerking met de Diagnostic Systems Branch, National Institutes of Health te Bethesda in de Verenigde Staten. Gezien de omstandigheden dat onderzoek op het gebied van digitale beeldverwerking gericht op tandheelkundige toepassingen op minder dan een handvol lokaties in de wereld plaatsvindt, is deze samenwerking van essentieel belang voor de ontwikkeling van beeldverwerkingstechnieken in de tandheelkunde.



Afb. 5. Registratie van oogbewegingen bij het observeren van röntgenopnamen (het getoonde traject beslaat een tijdsduur van één seconde).

van de diagnostiek; enerzijds om die gebieden te selecteren als onderwerp van research die kennelijk informatie kunnen bevatten over afwijkingen, anderzijds om het aanbieden van de beelden aan de waarnemer te optimaliseren. Kennis over het kijkpatroon en de relatie hiervan met het expertisniveau van de waarnemer is ook een belangrijk hulpmiddel voor het verbeteren van het praktische onderwijs in de interpretatie van röntgenopnamen.

4. ONDERWIJS EN DIAGNOSTIEK

In het voorgaande is uitgebreid ingegaan op de theoretische kaders van het onderzoek binnen een afdeling Tandheelkundige Radiologie en de praktische invulling daarvan binnen het Academisch Centrum Tandheelkunde Amsterdam. Niet of nauwelijks is het onderwijs en de dienstverlening ten behoeve van de diagnostiek aan de orde geweest. De reden hiervan is niet dat deze taken van minder belang zouden zijn. Echter, uit de beschrijving van het onderzoeksterrein zijn de taken op het gebied van onderwijs en diagnostiek gemakkelijk af te leiden.

Voor wat betreft het onderwijs zal het duidelijk zijn dat de radiologie meer te bieden heeft dan alleen maar te vertellen hoe foto's ontwikkeld moeten worden. Beter is het de student inzicht te geven in het interpretatieproces en hem te betrekken bij de ontwikkelingen in de beeldvorming en -weergave die zich thans voordoen. Als de student erin slaagt dat inzicht te verkrijgen, dan komt het ontwikkelen van foto's vanzelf wel goed. Bovendien houdt deze kennis zijn betekenis nog steeds wanneer films zijn vervangen door digitale apparatuur voor registratie en verwerking van beelden. Het stemt daarbij niet tot voldoening te moeten melden dat door alle financiële stroomlijningen van het universitaire onderwijs in de laatste jaren de onderwijstijd die beschikbaar is voor tandheelkundige radiologie zodanig in omvang is afgenomen dat er nog slechts enkele landen op de wereld zijn die *minder* uren in het curriculum aan dit onderwerp besteden. Er is dus nog iets te verbeteren in dit opzicht.

Ten aanzien van de diagnostiek is het duidelijk dat inzicht in waarnemingsprocessen, beeldvorming en afbeeldingstechnieken essentieel is voor het kunnen beoordelen van de gewenste opnametechniek en het interpreteren van de resulterende beelden. Het vakgebied der tandheelkundige radiologie vormt de synthese van deze elementen ten behoeve van de tandheelkundige diagnostiek en heeft dus een structurele en herkenbare functie binnen de tandheelkunde. Wie dat niet erkent, praat over iets anders of ontkent essentiële kenmerken. Er is daarbij een speciale taak weggelegd voor een afdeling Tandheelkun-

dige Radiologie om de laatste wetenschappelijke vorderingen en technische ontwikkelingen een rol te laten spelen bij de uitvoering van de diagnostiek. Alleen door de radiodiagnostiek te laten plaatsvinden onder verantwoordelijkheid van de Tandheelkundige Radiologie kan de patiënt optimaal profiteren van deze kennis en kunde.

5. BESLUIT

Op basis van hetgeen in de voorgaande paragrafen is uiteengezet kan worden geconcludeerd dat de taken van een afdeling Tandheelkundige Radiologie onder twee noemers zijn samen te vatten. Ten eerste dient te worden zorggedragen voor onderwijs aan tandheelkundige studenten, zodanig dat deze op adequate wijze de radiodiagnostiek kunnen toepassen in de tandheelkundige praktijk. Na zijn of haar afstuderen moet de student inzicht hebben in de mogelijkheden en consequenties van de

verschillende maatregelen gericht op beperking van de stralingsdosis voor hem/haar zelf en de patiënt en een effectief gebruik kunnen maken van de in de röntgenopnamen vervatte informatie. De student moet deze kennis ook kunnen toepassen wanneer er zich nieuwe ontwikkelingen voordoen in de technische uitvoering van de tandheelkundige radiodiagnostiek.

Ten tweede dient te worden bijgedragen aan de verdere ontwikkeling van de technische mogelijkheden van de radiodiagnostiek, met name die welke gericht zijn op de tandheelkundige diagnostiek. De synthese van nieuwe technieken uit gebieden buiten de tandheelkunde en van probleemstellingen binnen de tandheelkunde vormt daarbij een speciale uitdaging. Onderzoek op dit terrein is noodzakelijk om de tandheelkundige diagnostiek gelijke tred te laten houden met de ontwikkelingen die zich in andere medische sectoren voordoen en om een optimale diagnostiek te kunnen waarborgen.

SUMMARY

DENTO-MAXILLOFACIAL RADIOLOGY; DEVELOPMENTS FOR THE DENTAL PRACTICE

Keywords: Dento-maxillofacial radiology – Dosimetry – Image processing

Radiology can be visualized as a chain of activities and procedures. Components of this chain are among other things the production of radiation in the x-ray source, the attenuation of the radiation in the object which is to be depicted and the resulting dose to the patient, the recording of the x-ray image and the perception and interpretation of this image.

Today's research in a scientific department of dento-maxillofacial radiology, like that at the Academic Center for Dentistry Amsterdam, relates mainly to dosimetry and image processing. Dosimetry research aims at obtaining the desired diagnostic information with a minimal radiation burden for the patient. Image processing pertains to a more objective and quantitative interpretation of x-ray images.

The dosimetry studies have shown that informing the dentist more intensively with respect to new developments in radiological procedures will considerably decrease the radiation dose in the dental practice. In the field of image processing a number of computer aided procedures have already been developed which enable an automated recognition and quantitative description of anomalies depicted in x-ray image.

LITERATUUR

- SEWERIN L. Influence of x-ray beam angulation upon the radiographic image of proximal carious lesions. *Comm Dent Oral Epidemiol* 1981; 9: 74-8.
- VAN DER STELT PF, ET AL. Stralenbelasting bij tandheelkundige röntgenopnamen; eindverslag voor het Praeventiefonds. Amsterdam: Tandheelkundige Radiologie ACTA, 1987 (in druk).
- FEILZER-VELDERS XL, VAN DER STELT PF, VAN DER LINDEN LWJ, KUIPERS H, BOERSMA H. Radiographic equipment and patient exposure in general dental practice. *J Dent Res* 1986; 65: 542.
- KUIPERS H, FEILZER-VELDERS XL, VAN DER LINDEN LWJ. Survey of radiographic equipment and procedures in general dental practice. *J Dent Res* 1986; 65: 548.
- VAN DER STELT PF, GERAETS WGM. Evaluation of a computer aided method for the diagnosis of periodontal defects. *Proc 5th Conf on Med Im* 1986: 684-6.
- VAN DER STELT PF, RUTTIMANN UE, WEBBER RL. A procedure for reconstruction and enhancement of tomosynthetic images. *Dentomaxillofac Radiol* 1986; 15: 11-8.
- PARFITT GJ. An investigation of the normal variations in alveolar bone trabeculation. *Oral Surg* 1962; 15: 1453-63.
- VAN DER STELT PF, WEBBER RL, RUTTIMANN UE. Forensic identification of trabecular pattern from dental radiographs. *J Dent Res* 65: 176, 1986.
- SCHOUTEN E, DIJKSTRA S, VAN DER SIJDEN PC, VAN DER STELT PF. Differences between novices and experts in interpreting dental radiographs. *J Dent Res* 1986; 65: 842.
- VAN DER SIJDEN P, DIJKSTRA S, VAN DER STELT PF. Novice-expert differences in dental radiographic interpretation: an eye movement analysis. *J Dent Res* 1986; 65: 798.