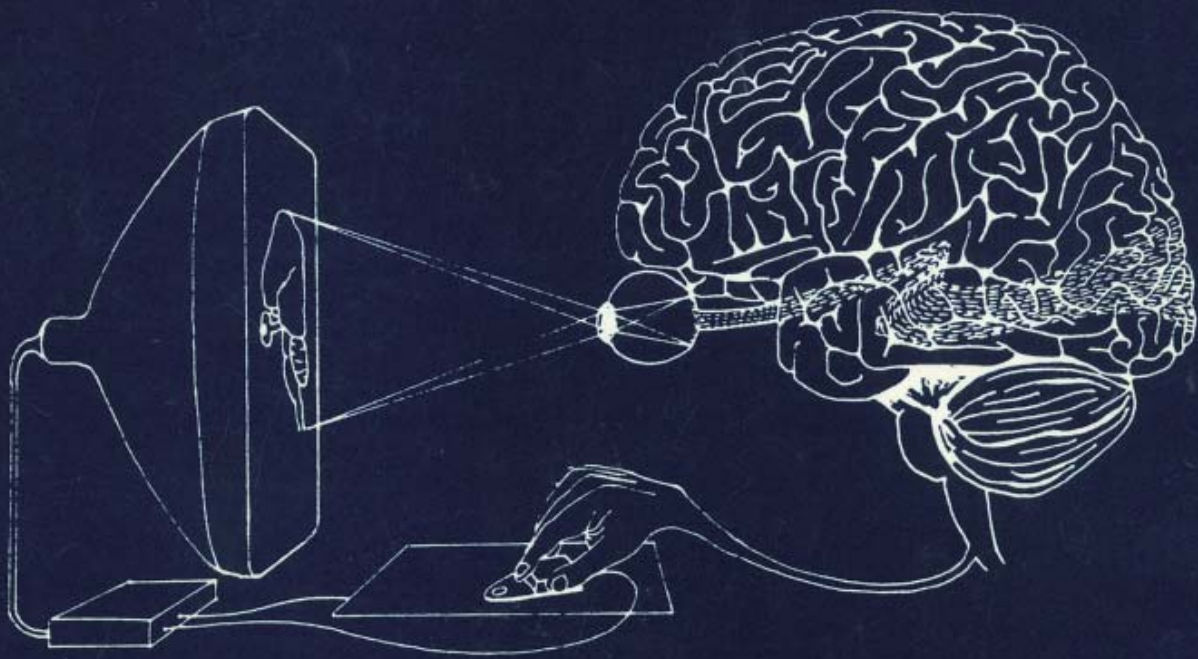


ORATIE

EERST ZIEN, DAN GELOVEN



Dr Ir F.W. Zonneveld



Universiteit Utrecht

EERST ZIEN, DAN GELOVEN

Rede

Uitgesproken bij de aanvaarding
van het ambt van hoogleraar in de
MEDISCHE BEELDVORMENDE TECHNIEKEN
aan de Rijksuniversiteit te Utrecht
op dinsdag 17 november 1992 door

Dr Ir F.W. Zonneveld



Universiteit Utrecht

*"The eye, which is called the window of the soul,
is the chief means whereby the understanding may
most fully and abundantly appreciate
the infinite works of nature".*

Leonardo da Vinci
(1452-1519)

Aan mijn ouders

Mijnheer de Rector Magnificus,
Leden van de Universitaire Gemeenschap,
Dames en heren studenten,
en u allen, die door uw aanwezigheid blijk geeft van uw belangstelling,

Zeer gewaardeerde toehoorders,

Stelt u zich voor: u bent een beroemd egyptoloog en u probeert de weg te vinden naar de grafkamer in een piramide en u heeft tijdens uw opgravingen een serie tekeningen gevonden die blijken doorsneden te zijn van de door u te onderzoeken piramide. Op een aantal daarvan kunt u duidelijk de grafkamer herkennen. Maar hoe moet u nu de weg vinden? Deze gefingeerde situatie stelt het probleem hoe een ruimtelijke vorm (het gangenstelsel naar de tombe van de pharao) moet worden gevonden op basis van louter doorsnedebeelden. Zo ook kunt u zich nu voorstellen hoe een chirurg zich voelt bij het aanschouwen van de vellen met Computertomografie- of Magnetic-Resonance-scans (afgekort CT en MR) die de radioloog hem of haar toont.

Het zal u inmiddels duidelijk zijn dat ik vandaag zal spreken over de rol van de beeldvormende technieken voor het ondersteunen van de behandeling, in casu de chirurgie. Het **zien** van de pathologie zal dus vooraf moeten gaan aan het **geloof** dat de patiënt met een gunstige prognose geopereerd kan worden. Maar dan moeten we die pathologie wel in zijn volle omvang **kunnen** zien.

Toen Wilhelm Conrad RÖNTGEN 97 jaar geleden de Röntgenstralen ontdekte, was het belang daarvan voor de chirurg meteen duidelijk: het was een prima hulpmiddel bij het zetten van gebroken botten en bij het verwijderen van kogels (1). Ook toen al bestond de behoefte aan aanvullende informatie die verkregen kon worden door Röntgenfoto's uit te meten of door stereofoto's te maken (2).

Toen de Computertomografie in 1972 werd geïntroduceerd, nadat deze door Sir Godfrey Newbold HOUNSFIELD (3) was uitgevonden, sprak men (na enige tijd) zelfs van de grootste verbetering in de radiologie sinds

RÖNTGEN. Men refereerde echter primair aan de diagnostische waarde van de nieuwe techniek terwijl de behoefte aan therapie-ondersteunende informatie er in die tijd niet minder om was (4). Hoewel de grote winst bij CT bestond uit het direkt kunnen afbeelden van weke-delen-structuren met onderling geringe contrastverschillen, zoals bij tumoren of metastasen, ontbrak er blijkbaar iets dat aan de chirurg kon appelleren. Dit nu, was de derde dimensie waarmee de chirurg in zijn dagelijkse werk zo is vertrouwd. Toch was er in de CT, naast het contrast-oplossend vermogen, nog een ander voordeel dat niet zo direkt in het oog liep. De beelden kwamen namelijk niet primair op film, maar in het geheugen van de computer tot stand. Dit maakte een omvorming van de doorsnedebeelden mogelijk naar een type beeld dat bij de chirurg wel zou aanslaan: een vorm die in de anatomie ook wel **topografisch** wordt genoemd. Dit is de samenhangende vorm waarin iedere medisch student zijn of haar anatomie leert (5): een vorm die te beschrijven is als het afbeelden van organen alsof er een foto van wordt gemaakt, maar dan nadat deze organen denkbeeldig uit hun anatomische omgeving zijn losgemaakt, echter met behoud van hun onderlinge relatie. We noemen deze beeldvorm daarom driedimensionaal. In de handen van de chirurg is het een visueel gereedschap waardoor hij zijn ingreep kan plannen en de risico's ervan kan overzien, daarbij alle andere klinische en radiologische informatie die hem ten dienste staat in overweging nemend. De bovenbedoelde door de computer uitgevoerde beeldsynthese kennen we in het dagelijks leven van de intro's van TV-programma's en van fantasiewerelden in bioscoopfilms inclusief surrealistische belichting en lichtreflectie. Door deze technieken zal het huidige en toekomstige gebruik van computers in de medische beeldvorming verder gaan dan de stoutste dromen van RÖNTGEN en HOUNSFIELD samen en als we de Amerikaan FUCHS mogen geloven (6) dan zal wat nu gangbaar is in computeranimaties en -simulaties dan ook normaal zijn in medische beeldvorming.

In plaats van u te wijzen op nieuwe trends in een bestaand vakgebied, zoals gebruikelijk is bij een oratie, zal ik u meevoeren in deze nieuwe

werkelijkheid die het "fotootje dat nog even gemaakt moet worden", zoals MALI dat in zijn oratie zo treffend noemde (7), gaat transformeren naar de basis voor complexe, en op die ene patiënt toegesneden, diagnostiek én behandeling. Hierbij denken we aan ingrijpende chirurgie en radiotherapie.

DE MULTIDISCIPLINAIRE AANPAK

Binnen de beeldvorming komen drie vakgebieden bij elkaar, die niet zonder elkaar kunnen, maar waarvan de beoefenaars zeer verschillende talen spreken. Dit zijn de **fysica**, die zorgt voor de technische mogelijkheid van de beeldvorming; de **radiologie**, die garant staat voor een korrekte toepassing van de beeldvormende techniek, zorg draagt voor de diagnostische interpretatie daarvan en bepalend is voor de keuze van aanvullend onderzoek voor het verfijnen van de differentiaaldiagnose. Het derde vakgebied is het **klinisch specialisme** dat verantwoordelijk is voor de behandeling van de patiënt en dat de resultaten van de klinische gegevens met die van de beeldvorming integreert tot een behandelplan. Dit behandelplan kan dus alleen optimaal zijn als de bovengenoemde vakgebieden volledig op elkaar zijn afgestemd. En dat betekent dat menig Babylonische spraakverwarring moet worden overwonnen; een integratie die vergeleken kan worden met de Europese eenwording en dus uitstekend in deze tijd past.

DE FYSICA

"Fysica", en nu citeer ik Zukav (8) "is de wetenschap die zich afvraagt waarvan het universum, inclusief de mens, is gemaakt en hoe het functioneert". Vakken als scheikunde, biologie en psychologie liggen meer aan de basis van de medische studie dan de natuurkunde. Toch is het zo dat in het menselijk lichaam zich enorm veel fysische processen afspelen; als we bijvoorbeeld denken aan de optica van het zien, de akoestiek van het horen en spreken, de stromingsfysica van het cardiovasculaire systeem, de gasdiffusie in de zuurstofhuishouding en de elektrische aspecten van de

zenuwgeleiding. Ook de apparatuur waarmee medici omgaan bevat enorm veel natuurkundige aspecten zoals: de stralenopwekking in de Röntgenbuis; de elektromechanica van de motoren die de apparatuur doen bewegen; de stralendetectie in de detectoren; het ultrageluid in de echotransducer; om maar niet te spreken van de fysica van de interactie van deze stralensoorten met het menselijk lichaam. Dit alles heeft McLAIN in zijn artikel over "Physics and Physicians" (9) doen verzuchten: "The physician of tomorrow will almost certainly have to be a more sophisticated physicist than his predecessor of today or yesterday. But, today or tomorrow, the physician is, perhaps unconsciously and perhaps reluctantly, a physicist to a very significant degree. It would be helpful if prospective physicians were somehow made to realize this, at the time when the necessary foundations are most easily laid." En dat is dus op het moment van de studiekeuze of misschien al daarvoor.

DE RADIOLOGIE

Vlak na de introductie van de Röntgenstralen waren er nog vele sceptici blijkens een gedicht dat in 1896 verscheen in het Londense blad "Punch" (10):

A Punch at X-rays

O Röntgen, then the news is true,
and not a trick of idle rumour,
that bids us each beware of you,
and of your grim and graveyard humour.

We do not want, like Dr Swift,
to take our flesh off and to pose in
our bones, or show each little rift
and joint for you to poke your nose in.

Wat hier wordt afgeschilderd als "neus in andermans zaken steken" is toch

de essentie van het radioloog zijn; alhoewel dat primair met de ogen en niet met de neus wordt beoefend. Hoewel de chirurg die vroeger slechts zijn klinisch onderzoek tot zijn beschikking had, er wellicht anders over dacht, heeft de radioloog in het verleden steeds met beperkte middelen moeten werken om tot zijn conclusies te komen. Toch werd dit primitieve Röntgenonderzoek samen met de klinische chemie en de electrocardiografie het verwijt gemaakt de waarde van de stethoscoop te hebben ondermijnd (11). De alleroudste Röntgenbuizen hadden niet eens een anode, laat staan een focus, en produceerden dus onscherpe beelden. Toen de beelden wel scherp waren, konden ze meestal de contrasten tussen de weke delen waar het om ging, niet afbeelden en moest er kunstmatig contrast in de patiënt worden gespoten. In 1931 publiceerde ZIEDESSES DES PLANTES Sr het idee, na er tien jaar mee te hebben rondgelopen, om Röntgentomogrammen te maken. Daarmee werd een methode geïntroduceerd die het weefselcontrast sterk verbeterde (12). Bovendien stelde ZIEDESSES DES PLANTES Sr de subtractietechniek voor (13), waardoor het toegevoegde contrastmiddel beter zichtbaar werd. De moderne opvolgers van de klassieke tomografie zijn CT, ultrageluid en MRI terwijl de subtractietechniek is opgevolgd door de digitale subtractie-angiografie. Doordat radiologen dagelijks omgaan met projecties en doorsnedebeelden, kunnen ze zich een redelijke voorstelling maken van de driedimensionale vorm van de inwendige structuren die ze tweedimensionaal waarnemen.

HET KLINISCH SPECIALISME

De meeste klinici zijn primair bezig met de ruimtelijkheid van de patiënt zelf en zijn daarom ingesteld op de driedimensionaliteit. Dat is de primaire reden voor de voornoemde mentale integratie van de tweedimensionale beelden waar zijn collega de radioloog van uitgaat.

De klinicus krijgt in de meeste gevallen een geschreven rapport van de radioloog. Daarnaast ontvangt hij of zij een mondelinge uitleg aan de hand van de Röntgenfoto's waarbij dan tevens de klinische gegevens aan de radioloog kunnen worden verduidelijkt. In de toekomst zie ik echter een

ontwikkeling waarbij het verslag van de radioloog een beeldverslag wordt met beelden die de clinicus direct kan begrijpen. Dit kan op dynamische wijze gebeuren door gebruik te maken van een videoband (of disk) waarop tevens het commentaar van de radioloog mondeling is vastgelegd.

DRIEDIMENSIONALE BEELDVORMING IN RELATIE TOT DE COMMUNICATIE TUSSEN RADIOLOOG EN KLINICUS

Het afbeelden van een driedimensionale vorm in een plat vlak kan aanleiding zijn voor ernstige interpretatiefouten. Dat is treffend aangetoond door de graficus ESCHER die in een aantal voorbeelden van zijn werk onmogelijke figuren construeert (14) of de draak steekt met de driedimensionale interpretatie door aan te tonen dat het papieroppervlak toch maar een plat vlak is (15). De Amerikaan HUFFMAN heeft zelfs een methode ontwikkeld waarmee de onmogelijkheden in dergelijke beelden door de computer kunnen worden opgespoord. Hij noemt dat een "Beeld-grammatica" (16). Ons eigen biofysische instituut in Utrecht doet op dat gebied ook baanbrekend werk (17). Van de GRIND, van de afdeling vergelijkende fysiologie van dit instituut, spreekt over het "driedimensionaal interpreteren van de tweedimensionale weergave die de driedimensionale werkelijkheid representeert" (18). Het zien van diepte wordt bovendien sterk gestimuleerd door onze beide ogen van de juiste (verschillende) beeldinformatie te voorzien (stereoscopie) en door het object te laten ronddraaien (parallax). Ik ga echter niet in op het verloop van deze waarnemings- en interpretatieprocessen onder verwijzing naar de visuele perceptie en psychofysica. Uit deze vakgebieden komen de handreikingen om in de medische beeldvorming een steeds hogere graad van realistische weergave te bereiken.

GESCHIEDENIS VAN DE DRIEDIMENSIONALE BEELDVORMING

Laten we ons eerst afvragen wat 3D-beeldvorming in feite is. We zouden het, net als de topografische anatomie van zoëven, kunnen beschrijven als

een afbeeldingsproces waardoor beelden ontstaan die lijken op foto's van geïsoleerde anatomische en pathologische structuren die in werkelijkheid integraal deel uit maken van een patiënt. Het isoleren van genoemde structuren vindt plaats op basis van een serie coupes in de vorm van CT- of MR-doorsneden die tezamen het onderzochte weefselvolume vormen. Dit isolatieproces wordt **segmentatie** genoemd en gebeurt door drempeling van de CT- of MR-getallen die gekoppeld zijn aan een weefseleigenschap zoals locale Röntgenverzwakking (CT) of andere vormen van signaalsterkte die bij MRI afhangen van de toegepaste beeldvormingstechniek (sequentie). Ook kan het voorkomen dat de gewenste structuren onvoldoende contrasteren en dan moeten de contouren handmatig in het beeld ingetekend worden via een interactiemechaniek. Bij voorkeur gebruiken we hiervoor een grafisch tablet en niet een keuzemechaniek zoals een "muis". Zo kan precies aangegeven worden wat wel en wat niet tot het beeld moet bijdragen. Deze techniek wordt ook gebruikt om botstructuren los van elkaar af te beelden zoals een onderkaak of losse wervels. In de toekomst moeten de handmatige segmentaties meer en meer vervangen worden door automatische segmentaties die gebaseerd zullen zijn op de signaalverwerking in het zenuwstelsel: de zogenaamde "neurale netwerk"-technieken (19).

De 3D-beeldvorming is eind zeventiger jaren door mensen als HERMAN ontwikkeld op basis van de principes van gesynthetiseerde computerbeelden (20). Daarbij is steeds een oppervlaktebeschrijving aanwezig in het computergeheugen waarbij thans ook berekend wordt hoeveel licht elke plek op dat oppervlak reflecteert, nadat het is beschenen door gefingeerde lichtbronnen waarvan de plaatsen en intensiteiten aan de computer bekend zijn. Vanuit elke willekeurige kijkrichting kan nu een beeld berekend worden van geselecteerde structuren; dus ook stereoparen en filmpjes van ronddraaiende structuren. Daarnaast is het mogelijk om in een structuur snedevlakken te definiëren waardoor delen die anders zouden zijn afgedekt, toch zichtbaar worden. Ook kunnen deelstructuren transparant worden gemaakt waardoor alles zichtbaar blijft en waardoor toch de samenhang niet verloren gaat. In het begin van de tachtiger jaren is 3D-

beeldvorming voor het eerst klinisch toegepast (21,22) en thans zodanig uitgegroeid en in kwaliteit verbeterd dat het een volwassen loot is geworden aan de boom van de beeldvormende technieken.

NUT VAN DE 3D-BEELDVORMING

Nu kunnen we ons verder afvragen wat zich in het spanningsveld tussen diagnose en behandeling afspeelt, zodat we beter kunnen begrijpen wat de bijdrage van 3D-beeldvorming kan zijn. In de klassieke situatie beoordeelt de radioloog een serie tweedimensionale beelden in de vorm van projectiebeelden zoals Röntgenfoto's of Scintigrammen, of doorsnedebeelden zoals we ze kennen uit de CT, MRI, ultrasone diagnostiek of uit de nucleaire geneeskunde.

Een Chinees gezegde zegt dat een beeld gelijkwaardig is aan duizend woorden. En waarschijnlijk is het zo dat een goed ruimtelijk inzicht in een chirurgisch probleem gebaseerd moet zijn op duizend doorsnedebeelden; bijvoorbeeld ruim driehonderd in transversale richting en evenzevele in coronale en sagittale richting. Of, zoals RADON het stelde toen hij het mathematisch principe van CT ontdekte (23), kan het ook gebaseerd zijn op duizend projecties van die ruimte op het platte vlak maar dan wel geprojecteerd uit duizend verschillende richtingen. Praktisch is dit evenwel niet. Echter, met 3D-beeldvorming kan de radioloog nu een beeldverslag maken dat tevens voor het ondersteunen van de behandeling kan dienen. Behalve op basis van CT- en MR-scans, zoals we hebben gezien, kan deze beeldvorming tegenwoordig zelfs op basis van ultrageluid scans plaatsvinden om bijvoorbeeld de ontwikkeling van een foetus te volgen (24).

Helaas bestaat er wel eens een spanningsveld tussen sommige radiologen en klinici die hun samenwerking niet ten goede komt. Er zijn klinici die vinden dat radiologen zich onvoldoende inleven in de problematiek van de behandeling. Het zou een bedreiging voor de radioloog kunnen zijn als op grote schaal klinici zelf gebruik gaan maken van diagnostische beeldvorming, zoals bij kaakchirurgen het gebruikelijk is om zelf orthopantomogrammen te maken; bij gynaecologen echo's en bij cardiologen catheter-

isaties. Deze vorm van eigen aanwending van beeldvorming wordt ook wel "zelfverwijzing" genoemd (25) omdat de klinicus de patiënt naar zichzelf verwijst in plaats van naar de radioloog. Daar waar de zelfverwijzing puur ontstaat uit de behoefte naar inkomensvergroting kan men vraagtekens bij deze praktijk plaatsen. Maar als zij ontstaat uit onvrede over de dienstverlening van de radioloog, dan mag de radioloog zich dat ter dege aantrekken (26,27). Ook de 3D-beeldvorming die specifiek voor de klinicus is bedoeld, kan door radiologen als een bedreiging gezien worden als de klinicus er zelf aan begint. Daarom zal de radioloog zich zo moeten opstellen dat hij goed op de hoogte is van de structuren die de klinicus wil zien. Op basis daarvan kan hij, door zijn grote ervaring met patroonherkenning van relevante structuren in 2D-beelden, deze structuren isoleren uit het datavolume. Na overdracht van deze segmentaties aan de klinicus kan deze er dan zelf mee manipuleren (d.w.z. bepalen uit welke richting er gekeken wordt, bepalen of er structuren transparant gemaakt of weggelaten moeten worden). Het is echter ook mogelijk dat, in onderling overleg, de radioloog de beelden kant en klaar aan de chirurg verstrekt.

DE INTERACTIEVE EN DYNAMISCHE AANPAK

Tot nu toe was ons 3D-beeld nog steeds een statisch beeld. Het wordt al weer een stap realistischer als dat beeld stereoscopisch en roterend kan worden weergegeven zodat een optimale ruimtelijke indruk wordt verkregen.

Ook het diagnostische beeld zal dynamisch en interactief moeten worden. Dit is een trend die Van WAES in zijn oratie in 1990 al uitvoerig aan de orde heeft gesteld (28). Het beste voorbeeld in de huidige situatie is het snel kunnen bladeren door een serie doorsneden. Daardoor verliest de ruis zijn storend effect en geeft de snelle beeldwisseling een sterk gevoel van diepte. Tevens biedt het de mogelijkheid om buisvormige structuren zoals bloedvaten en zenuwbanen te volgen langs hun kronkelende pad door het lichaam en voortdurend de omgeving ervan te beoordelen in verschillende (loodrechte) doorsnedevlakken. Hierdoor kan de vormcomplexiteit van

normale en abnormale structuren goed worden beoordeeld.

DE FUSIE VAN DIVERSE BEELDVORMENDE MODALITEITEN

De volgende stap zal moeten zijn dat verschillende beeldvormende technieken (**modaliteiten**), die ieder hun eigen merites hebben, worden samengevoegd tot één geheel (29). Zo kan CT heel goed botstructuren weergeven, evenals weke delen (waarbij CT bijvoorbeeld relatief ongevoelig is voor bewegingen van en in het lichaam). Daarentegen kan MRI goed het verschil laten zien tussen witte en grijze stof in de hersenen of tussen spieren en pezen of kraakbeen in de gewrichten. Ook kan MRI de bloedvaten fraai afbeelden zonder ingespoten contrastmiddel door gebruik te maken van de beweging van het bloed zelf. Ultrageluid kan bijvoorbeeld goed de richting van de bloedstroming laten zien zoals de twee tegengestelde stromen in de navelstreng. En nucleaire geneeskunde kan het metabolisme in het lichaam afbeelden waarbij soms gebruik wordt gemaakt van ingewikkelde stoffen zoals de monoklonale antilichamen die een tumor kunnen opzoeken en die gelabeld zijn met een radioactief element om te kunnen worden afgebeeld (30).

DE MAATSCHAPPELIJKE ASPECTEN

Wanneer we het doel van de chirurgie beschouwen dan is het algemeen aanvaard dat er niet alleen naar gestreefd moet worden om dood en ziekte te voorkomen maar dat de kwaliteit van het leven na de operatieve ingreep zo goed mogelijk moet zijn (31). Laten we dit bezien in het licht van de drie groepen patiënten waarbij 3D-beeldvorming ter voorbereiding van de chirurgie bij voorkeur wordt toegepast: aangeboren misvormingen, trauma en kanker. In de eerste groep komt een groot percentage voor met ernstige misvorming van het gelaat terwijl er geestelijk geen of geen noemenswaardige achterstand bestaat. Deze groep is er in het bijzonder bij gebaat dat het aangezicht weer zo normaal mogelijk wordt. We denken hierbij noch aan de groep die zo ernstig is gehandicapt dat ze nauwelijks levenskansen

hebben, noch aan de grote groep patiënten met één of andere vorm van hazelip, maar aan de ernstiger aandoeningen zoals de syndromen die gepaard gaan met vroegtijdige verbening van één of meer schedelnaden, met één of meer aangezichtsspletten, of met een groeistoornis.

Bij deze groep patiënten kunnen door de 3D-beeldvorming complicaties tijdens de operatie worden voorkomen, kan de operatieduur worden bekort, kunnen een serie kleinere operaties vervangen worden door één uitgebreidere operatie en met de hulp van modellen die op basis van de 3D-scan zijn gemaakt kunnen implantaten van te voren pasklaar vervaardigd worden. Bij de tweede groep patiënten gaat het vooral om misvormingen die zijn veroorzaakt door verwaarloosde, oude traumata. Verse traumata daarentegen kunnen goed genezen als ze snel en vakkundig worden behandeld. Voor deze patiëntengroep geldt hetzelfde als voor de eerste groep, alleen heeft men hier meestal met volwassenen te maken waardoor de groei geen complicerende factor vormt. Beide patiëntengroepen hebben gemeen dat de chirurg primair helend optreedt en alleen noodzakelijkerwijs mutileert als elders in het lichaam donorweefsels moeten worden weggenomen. Mutilatie is echter een primair probleem bij de derde groep omdat bij kanker zo radicaal mogelijk moet worden geopereerd. De beeldvorming heeft hier de extra taak om naast het preoperatief precies aangeven van de uitbreiding van het kankergezwel, tevens de mogelijkheden aan te geven voor reconstructie van het operatiedefect. Bij patiënten die moeten worden nabestraald, kunnen op soortgelijke wijze de buisjes voor de nabestraling met radioactieve kogeltjes reeds tijdens de operatie worden aangebracht omdat ook de dosisberekening van de nabestraling al heeft kunnen plaatsvinden op basis van de 3D-scan.

Wel moeten we bij het gebruik van 3D-beeldvorming de kosten in de gaten houden. Het nut ervan moet deze kosten steeds in ruime mate kunnen rechtvaardigen. Daarom dient deze techniek selectief bij de bovengenoemde patiëntengroepen en ook steeds vakkundig worden toegepast. De ervaring die in Utrecht nu met ruim zeshonderd patiënten is opgedaan, geeft ons het vertrouwen dat dit mogelijk is, desondanks zal het ook via wetenschappelijke toetsing moeten worden aangetoond.

Vele toepassingen zien we binnen de plastische en reconstructieve chirurgie waarvan thans maatschappelijk het belang voor de genoemde patiëntengroepen doordringt en men deze tak van chirurgie niet meer vereenzelvigd met facelifts en borstvergrotingen (32,33). Ook in andere takken van de chirurgie zoals in de orthopedie, kaakchirurgie, neurochirurgie, KNO-chirurgie en ook in de heelkunde zie ik hiervoor goede mogelijkheden. Niet alleen zal in de toekomst de 3D-beeldvorming zijn nut bewijzen voordat de operatie is begonnen. Er zijn ook technieken ontwikkeld om tijdens een operatie een interactie aan te gaan met het beelddatavolume door bijvoorbeeld een punt aan te wijzen in de patiënt, de coördinaten daarvan te registreren en vervolgens door dat punt drie loodrechte vlakken te berekenen en zichtbaar te maken op een beeldscherm. Ook kan men denken aan het tijdens de operatie genereren van een 3D-beeld door niet alleen een punt aan te wijzen maar ook een kijkrichting. In diezelfde kijkrichting kan dan het beeld, bijvoorbeeld van een tumor, gegenereerd worden zoals de chirurg mag verwachten dat deze tumor in de diepte verscholen er uit zou kunnen zien. Daarbij is het niet ondenkbaar dat beelden ruimtelijk kunnen worden weergegeven door ze in stereo te projecteren via dezelfde microscoop die de chirurg tijdens de operatie gebruikt. Tenslotte wordt er al aan gedacht om operaties van te voren te simuleren of om heel nauwkeurige robots een deel van de operatie te laten doen omdat ze veel nauwkeuriger kunnen werken dan mensenhanden (34). Zo worden nu al freesrobots gebruikt die het gat boren in het dijbeen voor het plaatsen van een kunstheupkop. Ook het maken van individuele implantaten zal steeds verfijnder kunnen en misschien betekent dat in de toekomst wel het verdwijnen van het losse kunstgebit als er op grote schaal kunstgebitten in de kaak zelf kunnen worden geïmplanteerd. Het lijkt zelfs mogelijk te worden om een botimplantaat met behulp van een mal in de juiste vorm in het lichaam te laten groeien (35). Met 3D-beeldvorming zou deze mal kunnen worden gemaakt. Tijdens de operatie kan de chirurg een zogenaamd "head-mounted device" (36) dragen, zoals we die kennen uit de "virtual reality" (37) (een door de computer gesimuleerde werkelijkheid), waarin een 3D-beeld zichtbaar wordt gemaakt, dat hij kan vergelijken met

het actuele operatieveld. Ook de computeranimaties uit de filmindustrie laten nu al zien dat de "sky" de "limit" is (38,39). Maar laten we ons niet laten verleiden tot al te fantastische toekomstbespiegelingen. Tenslotte is het heden al verbazingwekkend genoeg.

Ik spreek hierbij de wens uit dat de door mij geschetste verbeteringen ook de ruimte krijgen geëvalueerd te worden (40) en zodoende uit te groeien tot een volwaardige en algemeen geaccepteerde zorgvoorziening (41). Hier klinkt evenwel toch nog een sceptisch "eerst zien, dan geloven" door. Desalniettemin zal geavanceerde beeldvorming een uitstekend gereedschap worden dat in de hand van de kundige specialist kan leiden tot een goede chirurgische prognose, vooral in complexe situaties en dus bij selectieve toepassing, met een beperking van de kosten en een verhoging van de kwaliteit van leven (42,43). Dit is een doelstelling die geheel in de lijn ligt van het doelmatig medisch handelen zoals bedoeld in het advies van de Gezondheidsraad aan de Minister van WVC (44).

Deze rede overziend, kan worden geconcludeerd dat de basis van de medische beeldvormende technieken ligt in de fysica, een wetenschap die met dode materie omgaat maar waarbij de menselijke geest deze dode stof tot leven wekt. Dit wordt treffend uitgedrukt door het motto van de Eindhovense Technische Universiteit: "**Mens agit at molem**".

Vervolgens is het de waarneming die een voorwaarde is voor het actief worden van de menselijke geest, hetgeen het Instituut voor Perceptie Onderzoek in Eindhoven als motto heeft doen kiezen: "**Perceptio agit at mentem**".

Hierop voortbordurend kunnen we zeggen, tenminste binnen de radiodiagnostiek maar ik hoop nu ook binnen de klinische disciplines, dat het de afbeelding is, als resultaat van de medische beeldvorming, die de waarneming stimuleert. Met andere woorden: "**Imago agit at perceptionem**". En tenslotte is het zo dat in deze tijd de computer als gereedschap bij het tot stand komen van medische beelden, niet meer is weg te denken waarvoor ik het motto: "**Computatrum agit at imaginem**" zou willen introduceren. Het is de computer die de afbeelding tot leven brengt.

Deze nieuwe vorm van beeldvorming is een nieuw gereedschap net als destijds de stethoscoop (45,46). De medische vraagstellingen blijven dezelfde (47) maar het nieuwe visuele gereedschap zal ze sneller en efficiënter kunnen beantwoorden: "eerst zien, dan geloven". Naast het visuele aspect straalt dit motto ook de nuchterheid uit die de wetenschap eigen is. Maar ook buiten mijn werk spreekt het mij sterk aan.

Aan het einde gekomen van deze oratie, wil ik u, mijnheer de Rector Magnificus, de leden van het College van Bestuur en het Faculteitsbestuur danken voor mijn benoeming. Ik ben u allen hiervoor zeer erkentelijk en ik zal mij inzetten voor het tot ontwikkeling en bloei brengen van de medische beeldvormende technieken in de meest brede zin van het woord. Dat ik daarbij over de horizon van de fysica kan kijken door werkzaam te zijn binnen de Faculteit Geneeskunde is mij een groot genoegen. De Raad van Bestuur van het Academisch Ziekenhuis dank ik voor het verlenen van onderdak zodat ik vrijelijk met de klinische disciplines in contact kan treden. Vooral de combinatie van wetenschappelijk onderzoek, patiëntenzorg en applicatie van nieuwe beeldvormende apparatuur vormt daarbij voor mij een grote uitdaging.

Aan enkele personen vooral dank ik dat ik hier nu sta.

Hooggeleerde BOUMA, beste Herman. Als afstudeerbegeleider heb je aan de wieg gestaan van mijn loopbaan. Ik dank je voor je adviezen en je niet aflatende hulp. Je ziet, de visuele perceptie begint weer een belangrijke rol te spelen in mijn vakgebied omdat de interpretatie van de beelden ervan afhangt.

Zeergeleerde Van MEETEREN, beste Aart. Mijn verblijf in het Instituut voor Zintuigfysiologie te Soesterberg heeft mijn medische gerichtheid bevestigd. Je hebt me bovendien begeleid bij mijn eerste schreden op wetenschappelijk gebied en dat resulteerde in mijn allereerste wetenschappelijke publicatie (48). Daarvoor mijn oprechte dank.

Geleerde BOTDEN, beste Pierre. Binnen Philips Medical Systems ben jij degene geweest die mij de kans en de keus heeft gegeven om me op de computertomografie te storten. Dit is de basis geworden van mijn werk tijdens de afgelopen 18 jaar. Ik ben je zeer erkentelijk voor het vertrouwen dat je destijds in me hebt gesteld.

Geleerde BARTELS, beste Frits. Jij bent degene die mijn belangstelling opwekte voor het rotsbeen zodat ik besloot de fascinerende anatomie ervan door middel van CT te gaan onderzoeken. Het heeft niet alleen tot mijn promotieonderzoek geleid maar het heeft mij een diepe betrokkenheid opgeleverd met de palæoanthropologie door het CT-onderzoek van het binnenoer in menselijke fossielen (49).

Hooggeleerde KOORNNEEF, beste Leo. Jij bent verantwoordelijk voor het andere deel van mijn promotieonderzoek (50), namelijk de evenzo fascinerende anatomie en pathologie van de oogkas. Voor mij was dat een uiterst boeiende radiologische ontdekkingsreis die prachtig aansloot op jouw pionierswerk (51). Ik ben je buitengewoon erkentelijk voor je jarenlange stimulans, gastvrijheid en vriendschap.

Hooggeleerde HILLEN, beste Berend. Nadat we elkaar hebben leren kennen via het polsonderzoek (52) heb je aan de basis gestaan van de cryo-coupe-anatomie die zo wezenlijk is voor de interpretatie van hoge-resolutie-CT en -MRI. Ik dank je voor je grote inzet en hoop in de toekomst een bijdrage te kunnen leveren als we ook anatomiecoupes tot 3D-beelden kunnen gaan omvormen.

Hooggeleerde Van der MEULEN, beste Jacques. Je hebt gezien wat je hebt aangericht door mij in 1985 te stimuleren met de 3D-beeldvorming te beginnen (53). Het heeft me goed gedaan dat deze primaire aanzet vanuit de kliniek is gekomen. Dat is een goede voorwaarde voor de praktische bruikbaarheid ervan. Ik dank je voor je initiatief en voor het mij toevertrouwen van je uitzonderlijke patiëntenpopulatie.

Hooggeleerde Van WAES, beste Paul. Op vele punten ben jij de instigator geweest van de dingen die zijn gebeurd sinds ik op 31 januari 1979 regelmatig in het AZU kwam werken. Daarbij was je voortdurend een grote stimulator en dank zij de vrijheid en het vertrouwen die je me al die jaren geschonken hebt, kon alles uitgroeien tot wat het nu is. Daarbij steekt als belangrijke bijdrage boven de rest uit je rol als promotor (50). Door je inzet en goede contacten viel het promotieonderzoek als in een gespreid bedje en vlogen ons de "magna cum laudes" meteen om de oren. Ik dank je voor dit alles maar vooral ook voor je vriendschap en je streven om op de afdeling steeds een prima werksfeer te creëren.

Hooggeleerde HUIZING, beste Bert. Als tweede promotor en als motor achter een goede samenwerking tussen de Radiologie en de KNO (54) ben ik je veel dank verschuldigd.

Hooggeleerde MALI, hooggeleerde FELDBERG en overige leden van de opleidingsstaf, beste Willem, Michiel, Peter, Martin, Jan, Lino, Maarten en Erik. De hechte samenwerking met jullie en de expertise op jullie geheel eigen terreinen maakt het functioneren op deze afdeling tot een plezierig collegiaal gebeuren.

Hooggeleerde VIERGEVER, Zeergeleerde Ter HAAR ROMENY, Zeergeleerde BAKKER, Weledelgestrengede DIJKHUIZEN, Beste Max, Bart, Chris en André. Als fysici nemen wij een plaats in waarop vele collegæ fysici jaloers kunnen zijn. Ik wil mij ervoor inzetten dat zo te houden. Wat de beeldvorming betreft, vormen wij een superkritische kern hetgeen grote beloften voor de toekomst inhoudt, niet in de laatste plaats door de contacten met het biofysisch instituut van deze universiteit (55).

Waarde heer NEELEMAN, beste Leo. Als financiële roerganger van deze afdeling speel je een zeer essentiële rol. Ik dank je voor je inzet en creativiteit die de grondslag is voor het huidig en toekomstig functioneren van deze afdeling.

Stafleden, laboranten en medewerkers. Dank zij jullie flexibele inzet is het telkens weer mogelijk om de drie-eenheid van patiëntenzorg, onderwijs en wetenschappelijk onderzoek vrij soepel te laten functioneren. Ik dank jullie daarvoor en hoop ook in de toekomst daarvan te kunnen blijven profiteren.

Hoogleraren, stafleden en medewerkers van de klinische divisies en van het Centrum voor Anesthesiologie. Ik dank u voor de uitstekende samenwerking die de basis is voor mijn functioneren. Ik hoop dit in de toekomst te kunnen voortzetten, niet alleen in de patiëntenzorg maar ook in het onderzoek.

Dames en heren artsen in opleiding. De opleiding in een academisch centrum betekent dat u in de keuken van de toekomst kunt kijken. Ik vraag u daar uw voordeel mee te doen en open te staan voor nieuwe ontwikkelingen want zij zullen de basis zijn voor uw toekomstige loopbaan. Aangezien ook uw klant (de patiënt) koning is, hoop ik, dat u gebruik zult maken van de mogelijkheden die de medische beeldvorming u te bieden heeft.

Dames en heren van de medische beeldvormingsindustrie. Dank zij uw apparatuur is de medisch beeldvorming mogelijk. Bij de ontwikkeling daarvan zou ik u willen vragen zich te laten leiden door de klinische behoefte (56) die voortvloeit uit de wensen van de klanten-van-uw-klanten. Uw klanten zijn de radiologen en hun klanten zijn de verwijzend klinici. Alleen dan zult u in staat zijn het begeerde gat in de markt te vinden en het ook echt te vullen terwijl u de patiënt tegelijkertijd een grote dienst bewijst.

Dames en heren studenten. Uw generatie is opgegroeid met de computer en u heeft de overgang van het administratief naar het grafisch gebruik ervan meegemaakt. Aan u is de taak de mogelijkheden van de computer uit te werken opdat het een normaal en zinvol gereedschap wordt in onze maatschappij in het algemeen en in de medische beeldvorming in het bijzonder. Het is uw taak de droom die ik heb geschetst tot werkelijkheid te

maken. Ik wens u daarbij veel succes en zal trachten u daarbij ook zoveel mogelijk te ondersteunen.

Lizan en Wessel, door de vele discussies met jullie gevoerd, werd ik mij bewust van wat er in jullie generatie leeft. Het heeft me steeds behoed voor een te eenzijdige kijk op de dingen. Leef op jullie beurt ook bewust want er wordt wel eens gezegd:

**"We hebben de aarde niet geërfd van onze voorouders,
maar we hebben haar geleend van onze kinderen."**

Lieve Inez, doordat je levenshouding vooral gekenschetst wordt door Dyer's motto "eerst geloven dan zien" (57) heb je mijn eenzijdigheid en tekorten uitstekend kunnen aanvullen. Ik dank je voor je morele steun en liefde die ik ook bij mijn werk niet kan missen.

Ik heb gezegd.

BRONVERMELDING:

1. KÖHLER, A.: Das Röntgenverfahren in der Chirurgie.
Verlag von Hermann Meusser, Berlin (1911).
2. EBBENHORST TENBERGEN, J. van: De invloed van de exacte wetenschappen op de ontwikkeling van de geneeskundige Röntgenologie. Oratie.
Universiteit van Amsterdam (11 Juni 1928).
3. HOUNSFIELD, G.N.: A method of and apparatus for examination of a body by radiation such as X or gamma radiation. Patent specification 1283915. The Patent Office, London. 2 August (1972).
4. KLINKHAMER, A.C.: Weten te zien, zien te weten. Oratie.
Rijksuniversiteit Utrecht (14 November 1972).
5. NETTER, F.H.: Atlas of human anatomy, Ciba-Geigy, Summit, NJ, U.S.A (1989).
6. PORTER, S.: Virtual reality. *Comp. Graphics World*, 15 (March 1992) 42-54.
7. MALI, W.P.Th.M.: Nog even een fotootje maken. Oratie.
Rijksuniversiteit Utrecht (25 Sept. 1990).
8. ZUKAV, G.: The dancing Wu-Li Masters: An overview of the New physics.
William Morrow & Co. Inc., New York (1979).
9. McLAIN, P.L.: Physics and physicians. *IRE Trans. Bio-med. Electronics*.
Vol. 8 (1961) 73-75.
10. HÆGER, K.H.M.: The illustrated history of surgery. A.B. Nordbok,
Gothenburg (1988) 263.
11. DUNNING, A.J.: Broeder ezel. Over het onvermogen in geneeskunde.
Meulenhoff Nederland, Amsterdam (1981).
12. ZIEDESSES des PLANTES, B.G.: Een bijzondere methode voor het maken van Röntgenphotos van de schedel en wervelkolom.
Ned. Tijdschr. Geneesk. 75 (1931) 5218-5222.
13. ZIEDESSES des PLANTES, B.G.: Subtraktion. Eine röntgenographische Methode zur separaten Abbildung bestimmter Teile des Objekts.
Fortschr. Röntgenstr., 52 (1935) 69.
14. BOOL, F.H., KIST, J.R., LOCHER, J.L., WIERDA, F.: Leven en werk van M.C. Escher. Meulenhoff, Amsterdam (1981) 318, 321, 323.
15. BOOL, F.H., et al. (idem) pag. 286, 288, 303.
16. HUFFMAN, D.A.: Impossible objects as nonsense sentences. (1971)
zie: STIX, G.: Encoding the "neatness" of ones and zeros.
Scientific American (Sept. 1991) 27-28.
17. KOENDERINK, J.J.: Solid shape. The MIT Press, Cambridge,
Massachusetts, U.S.A. (1991).

18. GRIND, W.A. van de: Visuele representatie van ruimtelijke structuur in de geneeskunde en biologie. *Klin. Fysica* (1988/2) 50-57.
19. HUBEL, D.H.: *Eye, brain and vision*. Scientific American Library, New York (1988).
20. HERMAN, G.T., LIU, H.K.: Display of three-dimensional information in computed tomography. *J. Comput. Assist. Tomogr.*, 1 (1977) 155-160.
21. MARSH, J.L., VANNIER, M.W.: The 'third' dimension in craniofacial surgery. *Plast. Reconstr. Surg.*, 71 (1983) 759-766.
22. HEMMY, D.C., DAVID, D.J., HERMAN, G.T.: Three-dimensional reconstruction of craniofacial deformity using computed tomography. *Neurosurgery*, 13 (1983) 534-541.
23. RADON, J.: Über die Bestimmung von Funktionen durch ihre Integralwerte längs gewisser Mannigfaltigkeiten. *Ber. Verh. Sächs. Akad. Wiss. Leipzig Math. Phys. Kl. Vol. 69* (1917) 262-277.
24. KELLY, I.M.G., GARDENER, J.E., LEES W.R.: Three-dimensional fetal ultrasound. *The Lancet*, 339 (25 April 1992) 1062-1064.
25. HILLMAN, B.J.: Whose turf is imaging? Independent practice, academics, and research. *AJR* 156 (1991) 443-447.
26. ROCKOFF, S.D., DAVIS, D.O., GASKILL, J.W.: Physician attitudes toward the competence of general diagnostic radiologists: survey and implications. *AJR*, 140 (1983) 639-648.
27. ROLLO, F.D.: Forces driving medical market place create new priorities in radiology. *Diagn. Imaging* (Nov. 1987) 156-163.
28. WAES, P.F.G.M. van: *De dynamische benadering*. Oratie. Rijksuniversiteit Utrecht (16 Januari 1990).
29. ELZEN, P.A. van den, VIERGEVER, M.A., HUFFELEN, A.C. van, MEIJ, W. van der, WIENEKE, G.H.: Accurate matching of electromagnetic dipole data with CT and MR images. *Brain Topography*, 3 (1991) 425-432.
30. WILBUR, D.S., JONES, D.S., FRITZBERG, A.R., MORGAN, A.C.: Radioiodination of monoclonal antibodies. Labeling with paraiodophenyl (PIP) for in vivo stability of the radioiodination. *J. Nucl. Med.*, 27 (1986) 959.
31. NUBOER, J.F.: *Hoogtij en schaduwen der hedendaagse chirurgie*. Diesrede gehouden tijdens de 324ste Dies Natalis van de Rijksuniversiteit te Utrecht (25 Maart 1960).
32. MEULEN, J.C. van der: *Aesthetische chirurgie is geen luxe*. *NRC Handelsblad* (6 September 1990).

33. KON, M.: Vormen en veranderen. Oratie. Rijksuniversiteit Utrecht (17 Maart 1992).
34. HANSON, G.: Robots roll into operating rooms. *Insight* (April 8th, 1991) 44-45.
35. KHOURI, R.K., KOUDSI, B., REDDI, H.: Tissue transformation into bone in vivo. *JAMA*, 266 (1991) 1953-1955.
36. BRILL, L.M.: Facing interface issues. *Comp. Graphics World*, 15 (April 1992) 48-58.
37. ARTHUR, C.: Did reality move for you? *New Scientist* (23 May 1992) 22-27.
38. SWAIN, B.: Pixel tricks enrich flicks. *New Scientist* (3 Oct. 1992) 23-27.
39. PFISTER, G.: The lawnmower man. *Comp. Graphics World*, 15 (April 1992) 44-47.
40. WIED, D. de, BORST-EILERS, E., BLANPAIN, J.E., RAHN, K.H.: Academische ziekenhuizen als werkplaats voor onderzoek. (Eerste advies van de Commissie "Profilering Clinische Research" aan het Bestuur van de Vereniging Academische Ziekenhuizen). Den Haag (18 Mei 1992).
41. HESS, T.P.: Insurers clitch as radiologists press for payment of newer modalities. *Diagn. Imaging* (Nov. 1987) 143-152.
42. DUNNING, A.J.: Broeder ezel. Over het onvermogen in geneeskunde. Meulenhoff Nederland, Amsterdam (1981) 27, 33
43. BALTES, P.B., BALTES, M.M.: Successful aging. Cambridge University Press, Cambridge (1991).
44. BORST-EILERS, E., VISSER, H.K.A., BENNEBROEK, J. et al.: Medisch handelen op een tweesprong. (Advies uitgebracht door de Beraadsgroep Geneeskunde van de Gezondheidsraad aan de Minister en Staatssecretaris van Welzijn, Volksgezondheid en Cultuur). Gezondheidsraad, Den Haag (12 December 1991).
45. DUNNING, A.J.: Broeder ezel. Over het onvermogen in geneeskunde. Meulenhoff Nederland, Amsterdam (1981) 62, 63
46. LYONS, A.S., PETRUCELLI, R.J. Jr.: *Medicine. An illustrated history.* H.N. Abrams Inc., New York (1978) 510-511.
47. KING, L.S.: *Medical thinking. A historical preface.* Princeton University Press, Princeton (1982).
48. MEETEREN, A. van, ZONNEVELD, F.W.: A quantitative performance measure for night vision. *Optica Acta*, 19 (1972) 409-411.
49. ZONNEVELD, F.W., SPOOR, C.F., WIND, J.: The use of CT in the study of internal morphology of hominid fossils. *Medicamundi*, 34 (1989) 117-128.

50. ZONNEVELD, F.W.: Computed tomography of the temporal bone and orbit.
Urban & Schwarzenberg, Munich (1987).
51. KOORNNEEF, L.: Spatial aspects of orbital musculo-fibrous tissue in man.
Swets & Zeitlinger B.V., Amsterdam (1976).
52. JESSURUN, W., HILLEN, B., ZONNEVELD, F.W., HUFFSTADT, A.J.C.,
BEKS, J.W.F., OVERBEEK, W.: Anatomical relations in the carpal tunnel:
a computed tomographic study. *J. Hand Surg.*, 12B (1987) 64-67.
53. ZONNEVELD, F.W., LOBREGT, S., MEULEN, J.C. van der, VAANDRAGER, J.M.:
Three-dimensional imaging in craniofacial surgery.
World J. Surg., 13 (1989) 328-342.
54. GROOT, J.A.M. de, HUIZING, E.H.: Computed tomography of the petrous bone
in otosclerosis and Ménière's disease.
Acta Oto-laryngologica Suppl. 434 (1987).
55. KOENDERINK, J.J., SMOORENBURG, G.F., VIERGEVER, M.A., GRIND, W.A.
van de: Biofysica: van binnen en buiten, van horen en zeggen,
een extra dimensie, van hot naar her.
Vier oraties van het biofysisch instituut.
Rijksuniversiteit Utrecht (23 Oktober 1990).
56. CALMTHOUT, M. van, SCHOLTENS, B.: Een dubbeltje voor onderzoek en ook nog
willen concurreren. *De Volkskrant* (21 Maart 1992).
57. DYER, W.W.: You'll see it when you believe it. (Ned. Vert.:
Eerst geloven, dan zien: naar een bewuste beleving van een
wereld vol positieve krachten) A.W. Bruna, Utrecht (1989).

Dankzegging

De volgende personen wil ik speciaal bedanken voor hun hulp bij het tot stand komen van deze oratie:

Mevr. H.M.A. Bemelmans,
Mevr. Drs. A. Fernández,
J.H. de Groot,
Mevr. Drs. M.H. Kamperman-Mulder,
H. Leiters,
Ir. S. Lobregt,
M. Metselaar,
J.G.J. Ramackers,
Drs. A.J. Schrijner, en
Ch. Timmers.