

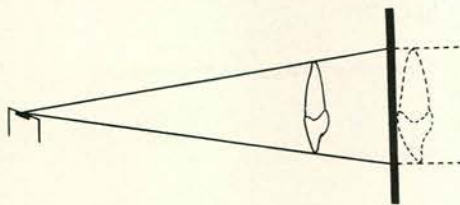
POST ACADEMIAM

DE VERWERKING VAN DE OBJECTIEVE GEGEVENS DIE EEN RÖNTGENFOTO BEVAT DOOR DE SUBJECTIEVE WAARNEMER\*)

J. VAN AKEN

Trefwoorden: Röntgenologie – Beeldvorming

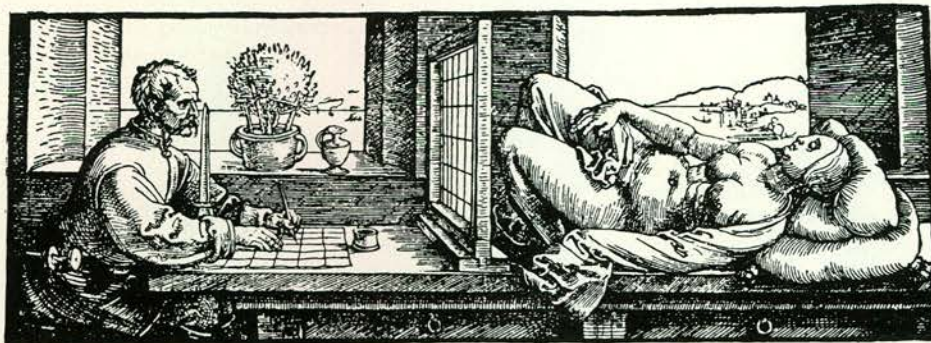
Het te interpreteren röntgenbeeld ontstaat doordat stralen afkomstig van de focus in de röntgenbuis als rechte lijnen van dit centrale punt uit het object op de film projecteren (afb. 1).



Afb. 1. Afbeeldingsprincipe bij het maken van een röntgenopname.

Deze wijze van projectie komt overeen met de principes toegepast in perspectivische afbeeldingen (afb. 2). Het centrale punt is hier het oog van de waarnemer, het vlak waarop het beeld geregistreerd wordt, het tafereel genoemd, bevindt zich tussen het centrale punt en het object. In vergelijking met de vorige methode bevindt het vlak waarop het beeld wordt vastgelegd, zich op een andere plaats. Zijn deze vlakken echter parallel dan heeft

\*) Voordracht gehouden tijdens de Voorjaarsvergadering 1975 te Utrecht van de Nederlandse Vereniging van Tandartsen.

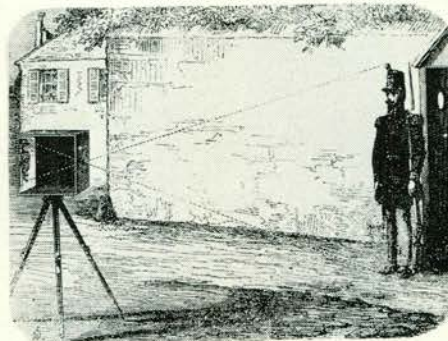


Afb. 2. Principe van een perspectivische afbeelding. A. Dürer (1538): Der Zeichner des liegenden Weibes.

Uit de vakgroep Tandheelkundige Röntgenologie van de rijksuniversiteit te Utrecht. Voorzitter: Prof. J. van Aken.

dit slechts invloed op de mate van vergroting c.q. verkleining van de afbeelding. De topografische relaties blijven behouden.

In de fotografie (afb. 3) wordt een afbeelding van het object verkregen die eveneens overeenkomt met beide voorgaande methoden. Het centrale punt ligt nu in de lens en de film is aan de andere zijde van dit centrale punt opgesteld. Doordat de projecterende lijnen rechten zijn, wordt het beeld identiek aan die verkregen bij de perspectivische afbeelding of de röntgenopname.

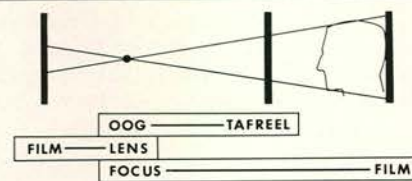
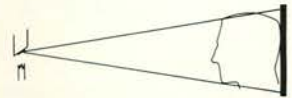
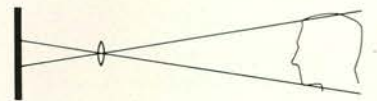


Afb. 3. Principe van een fotografische afbeelding.

De drie systemen zijn dus behoudens de afmeting van de afbeelding vergelijkbaar (afb. 4).

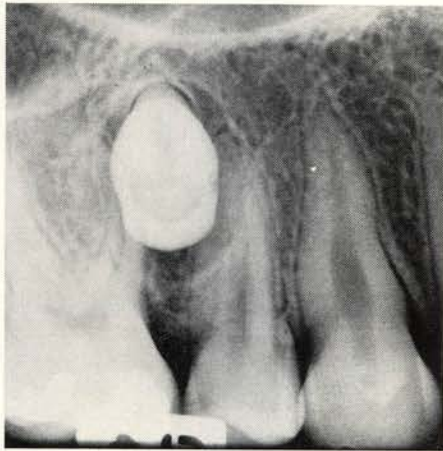
Samenvatting:

Een röntgenopname is in principe een perspectivische weergave van het object. De vraag rijst waarom de dieptewerking bij de beoordeling van een röntgenopname ontbreekt. Een aantal factoren kunnen hiervoor verantwoordelijk gesteld worden. Door speciale technieken is het echter mogelijk deze ruimtewerking toch tot stand te brengen. De objectieve gegevens die de röntgenfoto bevat kunnen op zich niet tot een interpretatie leiden. Deze is slechts mogelijk door inschakeling van een waarnemer. Deze moet op de hoogte zijn van de anatomische bouw van het object, de positie van de stralenbundel en de film ten opzichte van het object tijdens de opname en de wijze waarop de straling door het object wordt doorgelaten. Met deze kennis en een mate van ervaring is hij in staat een verwachtingsbeeld van de röntgenfoto, waarin geen afwijkingen voorkomen, op te bouwen. Afwijkingen bij de patiënt kunnen het beeld doen verschillen van dit verwachtingsbeeld en bij de interpretatie naar voren komen. Voorwaarde hierbij is dat de veranderingen in het beeld groot genoeg zijn om te kunnen worden waargenomen, dat de sleutel om het systeem in het beeld te kunnen analyseren bij de waarnemer bekend is, dat de afwijking dit systeem verstoort en dat de waarnemer een verwachtingsbeeld heeft van de afwijking.



Afb. 4. Vergelijking tussen de afbeeldingsprincipes bij een perspectivische afbeelding, een fotografische opname en een röntgenopname.

De afbeelding van een object op het netvlies van het oog geschiedt op een wijze overeenkomende met de afbeelding van een object op een film met behulp van een fotografische camera. Dit verklaart waarom een afbeelding gemaakt volgens de perspectivische projectie of langs fotografische weg verkregen, bij een waarnemer de illusie geeft dat hij het object zelf ziet. Wanneer echter een röntgenfoto vergeleken wordt met een afbeelding verkregen volgens één van deze beide methoden (afb. 5a en b) dan valt het op dat de ruimtewerking in de röntgenopname ontbreekt.



Afb. 5. Vergelijking tussen een röntgenopname en een perspectivische afbeelding om het verschil in dieptewerking te illustreren.

Het ligt daardoor voor de hand te onderzoeken welke factoren verantwoordelijk zijn voor deze dieptewer-

king en na te gaan of deze factoren in de röntgenopname ontbreken. Het blijkt dat de volgende aspecten een rol spelen:



Afb. 6. Afbeelding met sterk luchtperspectief.

1. Het luchtperspectief (afb. 6). Dit is het verschijnsel dat objecten die zich op grotere afstand bevinden een andere, meestal grijzere, tint hebben, bovendien is hierdoor vaak minder van de details waar te nemen. Een extreem voorbeeld is de vervaging in de waarneming van voorwerpen op grotere afstand bij het optreden van mist.



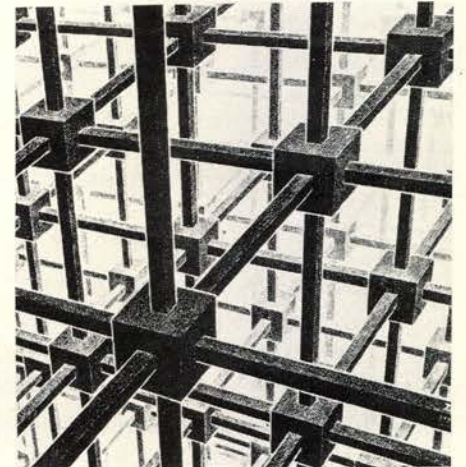
Afb. 7. Dieptewerking die uitsluitend op overlapping gebaseerd is. Vignet van Aubrey Beardsley uit *Le Morte d'Arthur*.

2. De overlapping (afb. 7). Voorwerpen die dichtbij zijn kunnen voorwerpen op grotere afstand overdekken.

3. De schaduw (afb. 8). Schaduw is een belangrijk hulpmiddel om de derde dimensie te suggereren. Deze schaduw kan zowel op het object zelf als op een onderliggend vlak als slagschaduw optreden.



Afb. 8. Dieptewerking door schaduw. Rembrandt: Oude man met golvende baard, rechts naar beneden kijkend.



Afb. 9. Dieptewerking die in sterke mate door het geometrische perspectief veroorzaakt wordt. M. C. Escher (1952): Kubische ruimtevulling.

4. Het geometrische perspectief (afb. 9). Dit volgt uit het principe van de projectie. De wetmatigheid in het geprojecteerde beeld die hierdoor ontstaat, wordt het sterkst gevoeld als ruimtewerking bij de afbeelding van een uit rechte lijnen opgebouwd object.

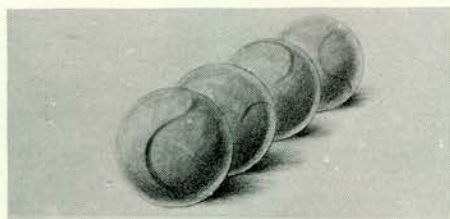
5. De herkenbaarheid van objecten (afb. 10). Het geometrische perspectief heeft tot gevolg dat de afmeting van een afbeelding van een voorwerp kleiner wordt indien de afstand van het object tot het centrale punt toeneemt. Indien het afgebeelde voorwerp herkenbaar is, waardoor de afmeting bekend is, wordt daardoor onbewust uit de grootte in de afbeel-

ding, de afstand tot de waarnemer afgeleid.



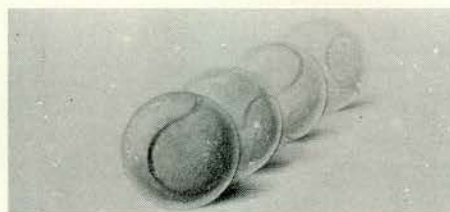
Afb. 10. Invloed van de herkenbaarheid van objecten op de subjectieve ervaring van diepte. De zegetafel van Koning Narmer, Thiniten, 3000-2700 v. Chr.

Dat deze factoren inderdaad de ruimtewerking opwekken, is te illustreren door in een afbeelding deze factoren achtereenvolgens te elimineren. Afb. 11 toont een beeld met maximale dieptewerking. In de volgende afbeeldingen worden achtereenvolgens geëlimineerd:



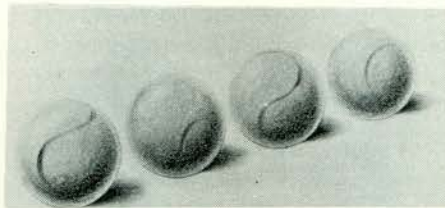
Afb. 11. Afbeelding van vier tennisballen met maximale dieptewerking.

1. het luchtperspectief (afb. 12),



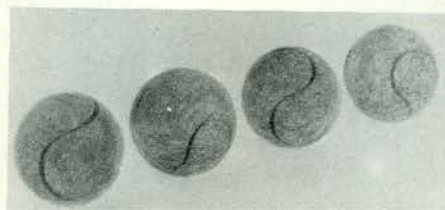
Afb. 12. Als afb. 11, echter zonder luchtperspectief.

2. de overlapping (afb. 13),



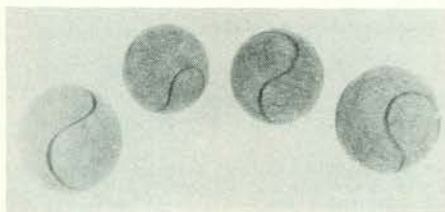
Afb. 13. Als afb. 12, echter zonder overlapping.

3. de schaduw (afb. 14),



Afb. 14. Als afb. 13, echter zonder schaduw.

4. de rechte lijn in de opstelling (afb. 15),

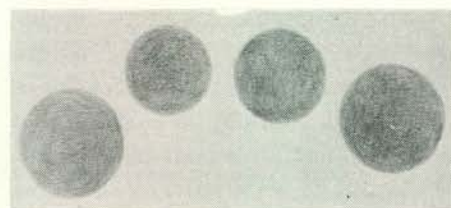


Afb. 15. Als afb. 14, echter zonder geometrisch perspectief.

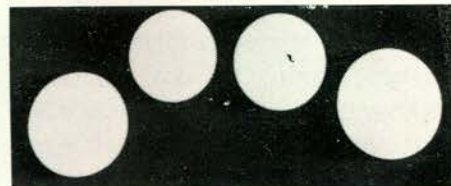
5. de herkenbaarheid van de objecten (afb. 16a).

Het beeld blijkt nu identiek te zijn geworden met de röntgenopname (afb. 16b). Laten we de genoemde factoren nogmaals de revue passeren, dan blijkt dat in een röntgenopname slechts de overlapping en de herkenbare objecten aanwezig zijn die mogelijk tot een dieptewerking aanleiding zouden kunnen geven. Door het penetrerende vermogen van de straling worden de structuren echter door elkaar in plaats van over elkaar geprojecteerd (afb. 17a en b). Hierdoor kan een overlapping geen dieptewerking opwekken. Wegens dit penetrerende vermogen is het noodzakelijk het object als een transparant gegeven op te vatten (afb. 18a en b).

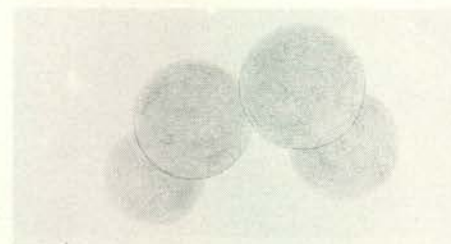
Herkenbare objecten zijn in principe vaak aanwezig, de praktijk wijst echter uit dat dit op zich niet voldoende is om gemakkelijk en op de juiste wijze diepte te suggereren. In afb. 19 die een schuin van onderen opgenomen late-



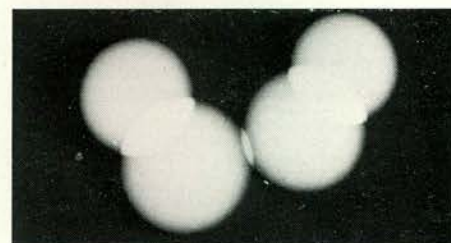
Afb. 16a. Als afb. 15, echter zonder herkenbaarheid van de objecten.



Afb. 16b. Röntgenopname van de objecten opgesteld als in afb. 16a.



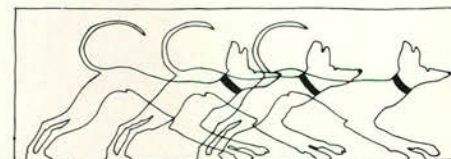
Afb. 17a. Als afb. 16a, echter met overlapping.



Afb. 17b. Röntgenopname van de objecten opgesteld als in afb. 17a.



a.



b.

Afb. 18. De objecten (a) moeten als transparant gegeven (b) opgevat worden. Friedrich König (1903): Ver Sacrum.

raal aanzicht van de onderkaak toont zou door het model van de tandboog en het verschil in grootte van de

elementen een ruimte-effect moeten ontstaan. Door de gewoonte de onderkaak van boven te beschouwen wordt het beeld gemakkelijk als een bovenaanzicht van de onderkaak geïnterpreteerd. Dat dit niet juist is, blijkt uit de afmeting van de elementen die in conflict komt met deze verkeerde ruimtelijke indruk. De afmeting en het model van herkenbare objecten is dus niet altijd betrouwbaar om er een ruimtelijke interpretatie op te baseren. Behalve de tot nu toe genoemde factoren zijn er nog drie andere (6, 7 en 8) die dieptewerking hebben.



Afb. 19. Schuin van onderen opgenomen onderkaak die als een bovenaanzicht wordt ervaren.

6. Het binoculaire zien. Dieptewerking door het binoculaire zien berust op het waarnemen van verschillende beelden met het linker en het rechter oog door de verschillende blikrichting van de beide ogen. Dit diepte-effect ten gevolge van het binoculaire zien is op de volgende wijzen op te wekken.

a. Door voor elk oog een spiegel of prisma te plaatsen waarmee een linker en een rechter beeld separaat aan het betreffende oog kan worden aangeboden.

b. Door de beelden in complementaire kleuren uit te voeren en de waarnemer een bril te laten gebruiken met glazen die elk één van deze twee kleuren licht doorlaten.

c. Door in plaats van twee verschillende kleuren licht, gebruik te maken van loodrecht op elkaar gepolariseerd

licht en een bijpassende bril te gebruiken.

d. Door gebruik te maken van een raster opgebouwd uit cilindervormige lenzen geplaatst op een beeld dat bestaat uit reepjes, alternerend afkomstig uit het linker en rechter beeld. Ten gevolge van het verschil in blikrichting van beide ogen wordt het linker en rechter beeld uitsluitend door het betreffende oog waargenomen.

7. De verplaatsingsparallax. Deze oorzaak van dieptewerking berust op de verandering die in het beeld optreedt indien de waarnemer zich verplaatst. Dit is toe te passen bij het maken van röntgenopnamen door tijdens de opname de patiënt te bewegen, b.v. te roteren en het beeld op een film vast te leggen.

8. De accommodatie. Tenslotte is voor de waarnemer ook de accommodatie nog een middel om diepte te registreren. Voor zover na te gaan is men nog niet in staat hiermee in een afbeelding dieptewerking op te wekken.

Er kan geconcludeerd worden dat uit de totale scala van mogelijkheden om een dieptewerking tot stand te brengen er drie zijn die bij een röntgenopname een rol kunnen spelen nl.:

1. de aanwezigheid van herkenbare objecten;
2. het maken van stereoscopische beelden;
3. een cinematografische opname te maken van een bewegend (roterend) object.

De combinatie van deze drie factoren, die tot een maximaal effect aanleiding zal moeten geven is reeds experimenteel gerealiseerd. Toepassing van een dergelijk systeem zal nog moeten tonen hoe groot de praktische betekenis is.

Beschouwen we nu het beeld dat ontstaat zonder één van de laatstgenoemde speciale methoden toe te passen dan is dit op te vatten als een tweedimensionale structuur, waarin de zwarting als variabele optreedt. Het is daardoor in principe mogelijk het beeld te registreren door het als op een T.V.-scherm af te tasten en de fluctuaties in de zwarting te registre-

ren. Objectief gezien is het beeld daarmee volledig vastgelegd maar een interpretatie is daarmee nog niet tot stand gekomen. Hiervoor is een waarnemer nodig die het gehele beeld beoordeelt en de nodige kennis heeft van de eigenschappen van de straling en de daarmee samenhangende penetratie door de weefsels. Deze penetratie hangt af van:

1. de dikte van de verschillende weefsels;
2. de concentratie waarin de absorberende atoomsoorten voorkomen;
3. welke atoomsoorten aanwezig zijn en tenslotte
4. de golflengte van de straling.

Aangezien de eerste drie factoren door de bouw van de patiënt worden bepaald is het duidelijk dat de nodige kennis van de anatomie onontbeerlijk is. Tenslotte is het eveneens van belang de richting van de projectie te kennen d.w.z. te weten hoe de positie van het centrale punt (de focus) en de film ten opzichte van de patiënt geweest is. Met deze kennis van (1) de anatomie, (2) de eigenschappen van de straling en (3) de wijze van projectie is het mogelijk te voorspellen hoe het beeld er uit zal zien. Onontbeerlijk blijkt echter ook een toetsing aan de praktijk waardoor een wisselwerking tussen theorie en ervaring optreedt. Hierdoor ontstaat bij de waarnemer op den duur een verwachtingsbeeld waaraan hij nieuw aangeboden beelden kan toetsen.

Om tot de conclusie te kunnen komen dat bij de patiënt een bepaalde abnormaliteit voorkomt zal de aard van de afwijking bij de patiënt en de principes van de beeldvorming tot gevolg moeten hebben dat wijzigingen in het beeld ontstaan. De wijzigingen in de patiënt zullen daarom betrekking moeten hebben op één van de reeds eerder genoemde factoren die de absorptie bepalen d.w.z.:

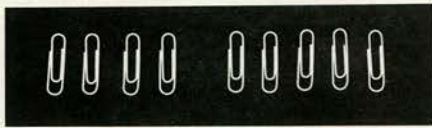
1. de dikte of het model van zich aftekenende weefsels,
2. de atomaire samenstelling of,
3. de concentratie van een voor de absorptie belangrijke atoomsoort.

Bovendien zal het effect ook nog zo

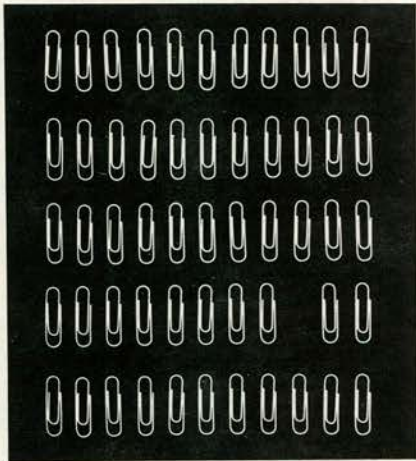
sterk moeten zijn dat het boven bepaalde storingen in de beeldvorming uitkomt en dat het voor het oog waarneembaar is. Als storende factoren kunnen genoemd worden: de ruis van de film die veroorzaakt wordt door de gekorrelde van het beeld, de onscherpte en het contrast.

Zichtbaarheid vereist daarom een minimum afmeting en een minimum zwartingsverschil, terwijl de waarnemer tevens niet gehinderd moet worden door verblinding door omgevende, te lichte velden.

Wordt aan al deze voorwaarden voldaan dan nog is de waarnemer niet altijd in staat een afwijking te registreren. Enkele simpele voorbeelden kunnen dit illustreren. Afb. 20 a toont een ééndimensionale structuur waarin het systeem duidelijk op één plaats doorbroken wordt. De afwijking is evident.



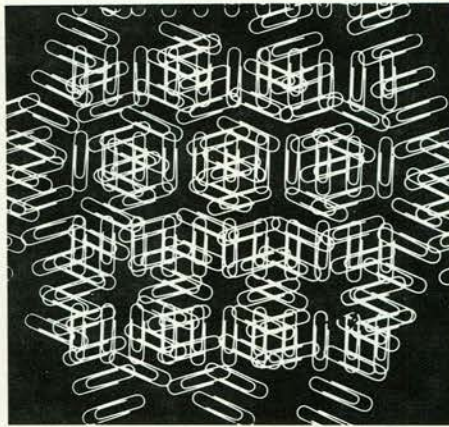
Afb. 20a. 'Ééndimensionale structuur met evidente afwijking.



Afb. 20b. Als bij a, echter 'tweedimensionaal'.

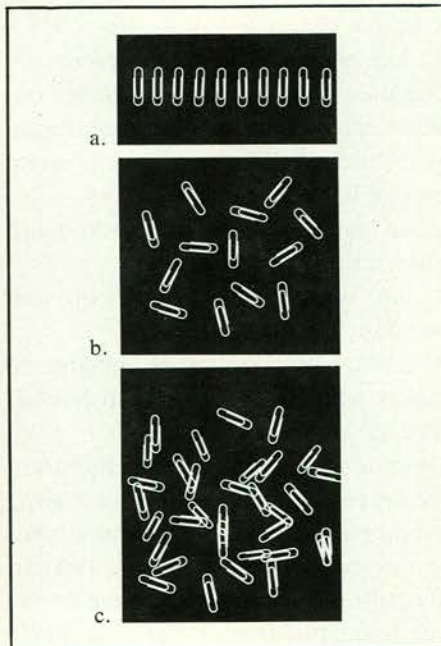
Geven we aan de structuur een tweede dimensie (afb. 20 b) dan is de afwijking nog steeds direct herkenbaar. Wordt nu een derde dimensie bij het systeem ingevoerd (afb. 20c) dan wordt het ondanks de eenvoud van het systeem en de evidentie van de afwijking, al lastiger om deze op te sporen.

In de volgende serie beelden is de



Afb. 20c. Als bij a, echter 'driedimensionaal'.

afwijking minder duidelijk. In het ééndimensionale systeem (afb. 21a) is na enig zoeken nog wel een afwijking op te sporen. In het tweedimensionale model (afb. 21b) is de moeilijkheid nog iets verder opgevoerd, hier is een ontbrekende eenheid slechts te vinden indien de sleutel bekend is (elke paperclip moet als een pijl opgevat worden, deze wijst naar een volgende waardoor een gesloten keten ontstaat).



Afb. 21a. 'Eéndimensionale' structuur met afwijking.

b. 'Tweedimensionale' structuur met afwijking die slechts te onderkennen is indien de sleutel bekend is.

c. Als bij b, echter 'driedimensionaal'.

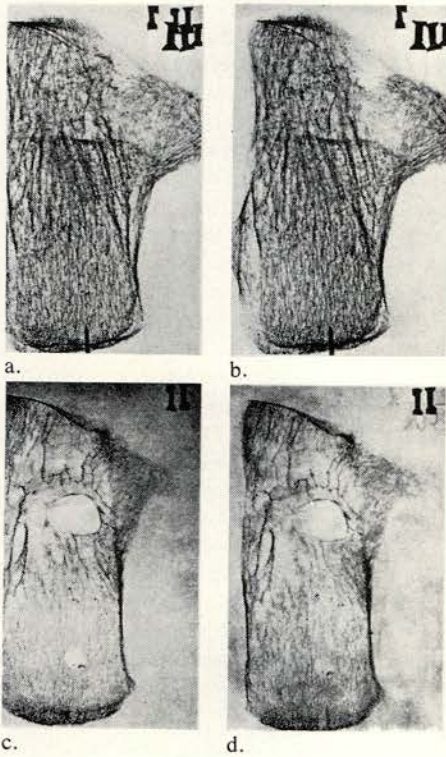
Wordt de derde dimensie ingevoerd (afb. 21c) dan is het praktisch niet meer mogelijk de ontbrekende schakel terug te vinden ook al is de sleutel bekend. Bij een ad random verdeling

van de elementen ontbreekt elk houvast en is het ontbrekende element principieel niet meer aan te geven.

Uit het bovenstaande valt te concluderen dat een 'afwijking' slechts te achterhalen is indien er systeem in het object aanwezig is en de sleutel van het systeem bekend is aan de waarnemer. Aangezien we moeten aannemen dat de bouw van de patiënt niet op toevallige wijze tot stand gekomen is, waardoor het een structuur heeft, is het de taak van de waarnemer de sleutel van deze structuur te zoeken om daarmee het opsporen van afwijkingen mogelijk te maken. Een aantal van deze sleutels is ons reeds bekend, zoals b.v. de parodontalspleet die overal praktisch even breed behoort te zijn. De lamina dura die als een gesloten lijn rond de radix dient te verschijnen. Het interdentale septum dat door een compacte beenlaag bedekt behoort te zijn. Opvallend is het hierbij dat onze kennis zich in hoofdzaak tot afbeeldingen met een eendimensionale structuur beperkt. Uit de voorgaande demonstratie met de paperclips is het duidelijk dat verscheidene dimensies de interpretatie sterk bemoeilijken en het vinden van sleutels daardoor tevens wordt belemmerd. Hieraan is het vermoedelijk te danken dat b.v. aan de spongiosa een voor de waarnemer moeilijk te doorgronden systeem ten grondslag ligt. Het opsporen van afwijkingen in deze structuren wordt daardoor zeer moeilijk.

De volgende voorbeelden kunnen dit illustreren. In afb. 22a is een botstuk weergegeven dat parallel met de film in drie lagen is gezaagd. Afb. 22b is een opname van laag I en III, waarbij laag II dus ontbreekt. In vergelijking met de eerste opname is amper verschil waar te nemen. Afb. 22c laat een opname zien van de ontbrekende laag. Het beeld van de ontbrekende laag moet het verschil zijn tussen het eerste en het tweede beeld. Fotografisch is het mogelijk twee beelden (afb. 23a en b) van elkaar af te trekken door de één met het negatief van het andere (afb. 23c) te bedekken waardoor het verschil zichtbaar wordt (afb. 23d). Het resultaat van deze procedure met de beelden van de botstukken is in afb.

22d zichtbaar. Hieruit blijkt dat de opnamen a en b inderdaad een verschil vertonen dat overeenkomt met de verwijderde middelste laag.

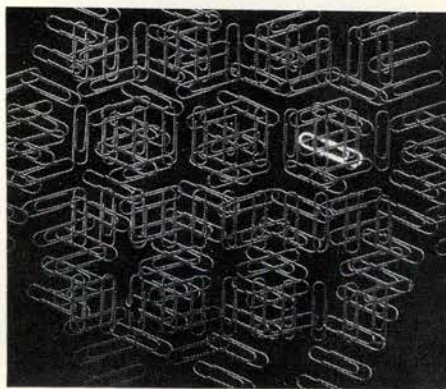
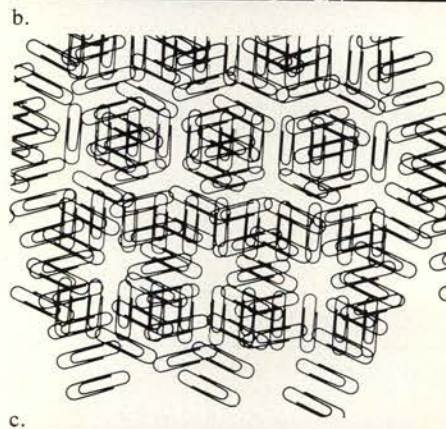
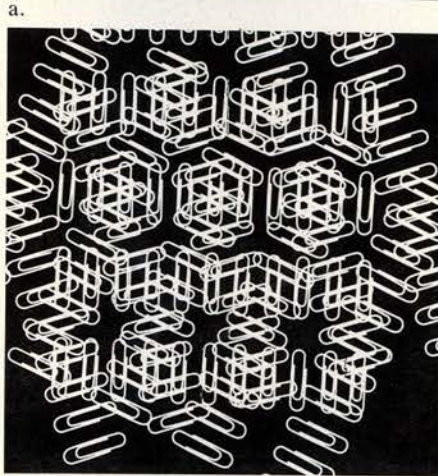
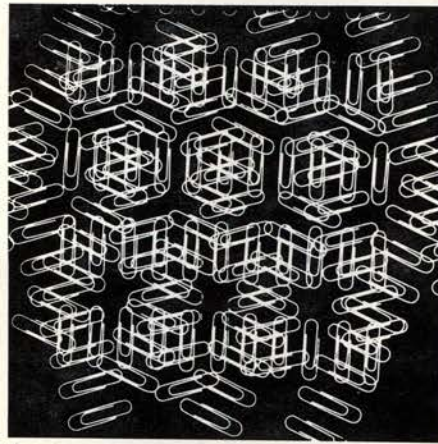


Afb. 22a. Röntgenopname van een botstuk opgebouwd uit 3 secties.  
 b. Als a, echter na verwijdering van de middelste sectie.  
 c. Röntgenopname van de middelste sectie.  
 d. Fotografische subtractie van afbeeldingen a en b.  
 D. Westra (1966): Zonography, the narrow-angle tomography. Excerpta Medica Foundation.

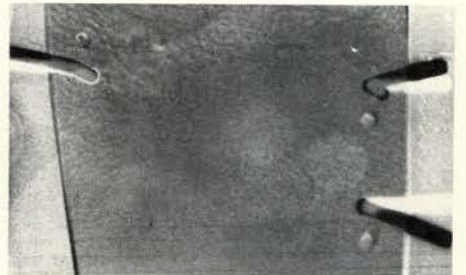
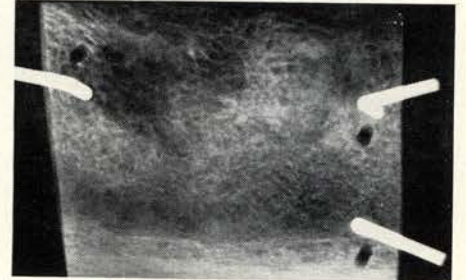
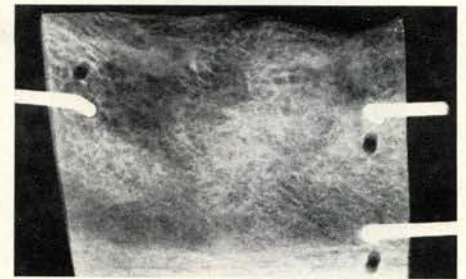
Dit principe om afwijkingen op te sporen is in de praktijk slechts toepasbaar indien opnamen 'voor' en 'na' en bovendien op identieke wijze vervaardigd, aanwezig zijn. Een tweede voorbeeld aan de hand van enig experimenteel materiaal, kan dit illustreren.

Hierbij is gebruik gemaakt van een doorgezaagde onderkaak, waarin op twee plaatsen een gedeelte van de spongiosa is weggeboord, resp. ter diepte van 1 en 1,5 mm en met een doorsnede van 5 mm. Na het terugplaatsen van de beide helften werd een tweede opname gemaakt (afb. 24a en b).

De 'afwijking' is op de opname niet waarneembaar, ook niet bij vergelijking van beide beelden. Bij subtractie (afb. 24c) komen de aangebrachte 'laesies' echter duidelijk naar voren.



Afb. 23a. Röntgenopname als in afb. 20c.  
 b. Röntgenopname als in afb. 20a, echter zonder het ontbrekende element.  
 c. Negatief van afb. a.  
 d. Combinatie van b en c.



Afb. 24a. Röntgenopname van een stuk onderkaak.  
 b. Als a, echter na verwijdering van een gedeelte spongiosa ter diepte van resp. 1 en 1,5 mm en met een doorsnede van 5 mm.  
 c. Subtractie van beelden a en b.  
 Opnamen G. Dekker afd. Parodontologie, R.U. Utrecht

Tenslotte speelt zich bij het opsporen van afwijkingen een tweede proces af dat overeenkomt met dat van het vergelijken van het aangeboden beeld met het verwachtingsbeeld op grond van kennis van de anatomie.

Zo zijn de kennis van pathologische processen, inzicht in de eigenschappen van de straling en de toegepaste projectie eveneens bouwstenen die in wisselwerking met praktische ervaring, verwachtingsbeelden van de diverse afwijkingen doen ontstaan.



Afb. 25. Röntgenopname van een onderkaak met een onbekende 'afwijking'.

In afb. 25 wordt dit aspect geïllustreerd. De 'afwijking' is zonder kennis van de aangebrachte verandering niet te vinden. Indien wordt vermeld, dat het cijfer 4 aanwezig is in een model zoals dit met ponsgaten verkregen wordt, dan zal dit in de foto terug te vinden zijn. Het verwachtingsbeeld van de afwijking is dus tevens noodzakelijk om een interpretatie mogelijk te maken.

Het volgende overzicht illustreert nogmaals de behandelde aspecten die bij de interpretatie een rol spelen (afb. 26).

De waarnemer zal achtereenvolgens zijn beeld toetsen aan zijn verwachtingsbeeld van een patiënt zonder afwijkingen en vervolgens afwijkingen in het beeld moeten opsporen door het gebruik van sleutels die het systeem analyseerbaar maken en tenslotte zal toetsing aan het verwachtingsbeeld voor de diverse pathologische processen plaatsvinden. Het eindresultaat zal daarna één van de informatiebronnen vormen, die naast het klinisch en het laboratoriumonderzoek, vaak noodzakelijk is om tot een verantwoorde afweging van verschillende diagnosen te komen.

**Summary:**

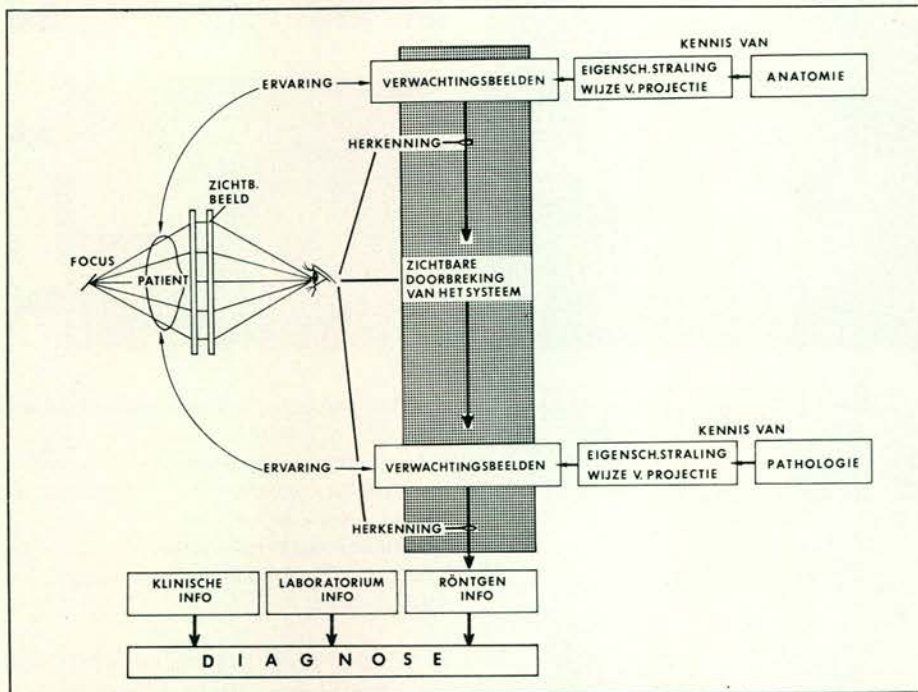
Title: The assimilation of the objective data of an X-ray by the subjective observer. A roentgenogram is in principle a perspective image of the object. The question arises why – when interpreting the X-ray image – the depth-effect is not observed. A number of factors can be found which are responsible for this failure. By using special techniques it is still possible however to create this spatial effect. The objective data contained in a roentgenogram cannot by themselves lead to an interpretation. This can only be realized by introducing an observer. This observer must be well informed of the anatomy of the object, the position of the X-ray beam and the film in relation to the object during the exposure and the way in which radiation is attenuated by an object. With this knowledge and a certain amount of experience he is able to visualize an expected image of a roentgenogram which can be made of a normal patient. Pathology may change the image, creating a difference with the expected image which makes the pathology recognizable during interpretation. Conditions for this recognition are that the change in the image is large enough to be detectable, that the key to analyse the system in the image is known by the observer, that the system is disturbed and that the observer has an expectation of the changes in the image generated by the pathology.

**Literatuur:**

1. Goldstein, I. L., Mobley, W. H., Chellemi, S. J.: The observer process in the visual interpretation of radiographs. J Dent Education 22: 485, 1971.
2. Symposium on Perception of the Roentgen Image. The Radiologic Clinics of North America VII: No. 3, Dec. 1969.
3. Westra, D. (1966): Zonography, the narrow-angle tomography. Excerpta Medica Foundation.

April 1976.

Adres: Prof. J. van Aken, Sorbonnelaan 16, Utrecht.



Afb. 26. Schema ter illustratie van de processen die zich bij de interpretatie van röntgenbeelden afspelen.