

Enige fysische aspecten van de medische toepassing der Röntgenstralen*)

door Dr. W. J. Oosterkamp

Op velerlei wijze bestaat er een nauw verband tussen de natuurkunde en de medische röntgenologie. In de eerste plaats denken we hierbij aan de ontdekking der röntgenstralen, welke het gevolg was van fysische experimenten over verschijnselen bij elektrische ontladingen in verdunde gassen.

In deze voordracht willen wij in het bijzonder de aandacht vragen voor de fysische beginselen welke aan de constructie der moderne röntgenbuizen en röntgenapparaten ten grondslag liggen, voor de fysische wetten welke een rol spelen bij de beeldvorming en voor de fysische meetapparaturen welke dienen om de bij een medisch onderzoek toegediende stralingsdosis te meten.

1. *Fysische grondslagen der röntgenapparatuur.*

Sinds de ontdekking der röntgenstralen werd langzamerhand een beter en dieper inzicht verkregen in de fysische verschijnselen, welke optreden in röntgenbuizen en röntgenapparaten. De grondslagen voor de constructie en de eisen voor de gebruikte materialen konden daardoor nauwkeuriger geformuleerd worden en door gebruik te maken van nieuwe ontdekkingen en ideeën, konden buizen en apparaten steeds doelmatiger en eenvoudiger geconstrueerd worden.

Voor de opwekking van röntgenstralen is het noodzakelijk, dat snelle electronen — dit zijn de kleinste negatief geladen electriciteitsdragers — in botsing komen met materie. Bij deze botsing worden de electronen geremd en hun energie wordt daarbij voor een klein gedeelte omgezet in röntgenstralen. Bij de eerste röntgenbuizen werden deze electronen verkregen door een elektrische ontlading in een verdund gas (kathodestrallen). Teneinde de electronen voldoende grote snelheid te geven, moeten zij versneld worden in een sterk elektrisch veld, dat verkregen werd door tussen de electroden — kathode en anode — van de röntgenbuis een hoge elektrische spanning aan te brengen. Die hoge elektrische spanning

*) Voordracht, gehouden voor de Vereniging van Nederlandse Tandartsen op 8 April 1949 te Utrecht.

heeft ten gevolge, dat de gasdruk in de buis zeer laag moet zijn, daar anders de ontlading onstabiel zou worden en geen hoge spanning tussen de electroden gehandhaafd zou kunnen worden. Anderzijds verdwijnt door de elektrische ontlading het gas geleidelijk uit de buis, waardoor deze steeds slechter elektrisch geleidend wordt en steeds hogere spanningen nodig zijn om er een stroom doorheen te laten vloeien, totdat uiteindelijk de gasdruk zo laag is geworden dat de buis niet meer bruikbaar is. Door een regeneratie-proces moest dan de buis weer opnieuw met gas gevuld worden. De door een dergelijke buis uitgezonden straling is zowel wat kwaliteit als quantiteit betreft, zeer onreproduceerbaar. Als bron voor de hoogspanning werd in die tijd een inductor volgens Ruhmkorff gebruikt, waarvan de verkregen spanning ook al tamelijk onreproduceerbaar is. Hierdoor werden de variaties in de hoeveelheid en de hardheid van de uitgezonden straling nog vergroot. Een eerste verbetering was het koelen der anode met water, waardoor de buizen hoger belast konden worden. Een volgende zeer belangrijke verbetering werd door Coolidge ingevoerd, nadat ontdekt was, dat, wanneer metalen in vacuum hoog verhit worden, zij het vermogen krijgen electronen te emitteren. Deze electronen verdampen als het ware uit het metaal. Een dergelijke electronenbron is het eenvoudigst te realiseren, indien men door een in vacuum geplaatste wolframdraad een elektrische stroom stuurt van zodanige grootte, dat de temperatuur boven de 2000° C ligt. Op deze wijze was de gasvulling overbodig geworden. Door beïnvloeding van de temperatuur van de gloeidraad door middel van de er door heen gevoerde stroom, kan de stroom door de buizen zeer nauwkeurig geregeld worden. Daarnaast werd de inductor van Ruhmkorff vervangen door de meer bedrijfszekere en een zeer reproduceerbare spanning leverende hoogspanningstransformator.

Bij deze vacuum-röntgenbuizen kunnen de röntgenstralen, welke in alle richtingen uitgezonden worden, slechts moeilijk en onvolledig door het plaatsen van de buis in een loodglazen houder, begrensd worden tot de betrekkelijk nauwe bundel, welke voor het onderzoek nodig is. Een grote verbetering werd verkregen bij de Metalix buis, waarbij de ballon van de glazen buis vervangen werd door een cylinder van een chroomijzerlegering, waaromheen een loodmantel met een venster was aangebracht. Om de glazen armen, welke aan beide zijden aan de metalen cylinder gelast zijn, werden cylinders van bariumhoudend „Philite” aangebracht, waardoor ook de zijwaarts uitgezonden röntgenstralen voldoende geabsorbeerd werden. Een dergelijke buis geeft volledige bescherming tegen straling en is bovendien veel eenvoudiger te bewegen dan

een grote buis in een loodglazen houder, terwijl zij door de onderverdeling der spanning ook aanzienlijk korter kan zijn.

Deze buizen hadden nog het nadeel dat men door onvoorzichtigheid de hoogspanning vrijelijk kon aanraken en de volgende stap was de volledig tegen aanraking der hoogspanning beschermde buis, waarbij deze geheel in een geaard, metalen omhulsel geplaatst is en de hoogspanning door rubberkabels, welke eveneens van een geaard metalen bekleedsel voorzien zijn, toegevoerd wordt. Een verdere vereenvoudiging werd verkregen door transformator en röntgenbuis in één eenheid samen te bouwen, waardoor de hoogspanningskabels konden vervallen. Door gebruik te maken van nieuw ontwikkelde, hoogwaardige glassoorten blijkt de metalen middencylinder overbodig te zijn geworden en kan hetzelfde resultaat ook verkregen worden met geheel glazen buizen. Door nader inzicht in de voor de elektrische doorslag maatgevende factoren, konden deze veranderingen gepaard gaan met een aanzienlijke verkleining van de afmetingen der röntgenbuizen, in het bijzonder indien olie of andere hoogwaardige materialen als isolerend medium gebruikt worden.

Als belangrijke verbetering van de buizen voor de diagnostiek kan nog vermeld worden een buis met een anode welke in vacuum draait. Hierbij wordt de elektrische belasting, welke een sterke verwarming van de anode veroorzaakt, verspreid over een groot gedeelte van het anode-oppervlak, waardoor bij eenzelfde belasting een veel kleiner focus, d.i. het röntgenstralen emitterend gedeelte van het voorvlak der anode, gebruikt kan worden, hetgeen de scherpte der afbeelding ten goede komt. Deze buis is in het bijzonder van belang voor de diagnostiek der buik- en borstorganen, waarbij tengevolge van de inwendige bewegingen zeer korte belichtingstijden vereist zijn. Van de verschillende genoemde typen röntgenbuizen werd een exemplaar getoond. Ook bij de constructie der transformatoren konden, door gebruikmaking van betere theoretische inzichten betreffende hoogspanningsconstructies en het gebruiken van nieuwe materialen en betere fabricage-wijzen, steeds kleinere afmetingen bereikt worden, welke de hanteerbaarheid en de instelbaarheid der apparatuur sterk ten goede komen.

2. *Beeldvorming.*

Voor de kwaliteit van het röntgenbeeld zijn vooral van belang: de scherpte en het contrast waarmede de details afgebeeld worden. Er zijn verschillende oorzaken, waardoor het röntgenbeeld niet geheel scherp is. Een eerste oorzaak is de eindige grootte van het focus der röntgenbuis. Ideaal zou zijn, indien dit puntvormig was.

De energie der op de anode treffende electronen en de daardoor veroorzaakte verwarming is echter zo groot, dat deze over een zeker oppervlak uitgespreid moet worden, zodat voor de tandheelkundige apparaten de grootte van dit focus meestal ligt tussen 0,8 en 1,5 mm. Daar nu het object, bijvoorbeeld de kaak, een zekere dikte heeft en de verschillende details zich dus op enige afstand van de film bevinden, treedt een half-schaduw effect op. Dit is des te groter naarmate het focus van de röntgenbuis groter is en de film zich verder van de af te beelden object-details bevindt, terwijl anderzijds deze onscherpte verkleind kan worden door de afstand van het focus tot het object te vergroten. Dit gaat echter gepaard met een sterk intensiteitsverlies, hetgeen betekent dat een langere belichtingstijd noodzakelijk is. Men komt dus tot de eis van een klein, doch „licht”sterk focus.

Een verdere bron van onscherpte zijn de versterkingsfoliën, welke bijvoorbeeld voor kaak- en schedelfoto's gebruikt worden, daar zonder het gebruik van deze versterkingsfoliën de belichtingstijd te lang zou zijn. Deze foliën bestaan uit een laag van enkele tienden mm dik fluorescerend materiaal op een onderlaag van glanzend karton. In deze fluorescerende stof wordt de röntgenstraling omgezet in zichtbaar licht, hetgeen een veel grotere zwarting veroorzaakt dan de röntgenstraling zelf. De versterkende werking wordt veroorzaakt doordat in deze vrij dikke laag van een materiaal met een hoog atoomnummer de absorptie der röntgenstralen veel groter is dan in de betrekkelijk dunne emulsie-laag der film. Ten gevolge van de dikte der fluorescerende laag treedt daarin een zekere verstrooiing van het opgewekte fluorescentielicht op, waardoor een onscherpte van enkele tienden mm veroorzaakt wordt. In het algemeen is de door een folie veroorzaakte onscherpte groter naarmate de versterkingsfactor van het folie ook groter is. Met behulp van een nabootsing der beeldvorming met zichtbaar licht werden op vergrote schaal de focus-onscherpte en de folie-onscherpte nader gedemonstreerd. Ook werden enige instructieve lantaarnplaatjes vertoond.

Een derde bron van onscherpte is de beweging van het object of van de film. In tegenstelling met de fotografie van de borst- en buikholte komen bij de tandheelkundige objecten geen periodiek bewegende organen voor. De eventueel optredende bewegings-onscherpte wordt veroorzaakt door onwillekeurige bewegingen van het hoofd of door onvoldoende fixatie van de film, terwijl soms het nog niet geheel uitgetrild zijn van het röntgenapparaat na de instelling een oorzaak van bewegingsonscherpte kan zijn.

Het contrast der foto wordt hoofdzakelijk bepaald door de hard-

heid der gebruikte röntgenstralen en door de gradatie van de film. Gedemonstreerd wordt, dat voor de hardheid der straling niet alleen de hoogte der spanning aan de röntgenbuis maatgevend is, maar daarnaast ook het eigen filter gevormd door het dunne glasvenster van de röntgenbuis, een laagje isolatieolie en het afsluitplaatje van de vensteropening, dat uit „Philite” bestaat, van het röntgenapparaat. Hoe kleiner het eigen filter of hoe lager de spanning, hoe meer zachte componenten de geëmitteerde straling bevat en hoe groter het contrast is. De verkleining van het eigen filter betekent echter een vergroting der intensiteit der stralen, terwijl verlaging van de spanning een vermindering der intensiteit met zich brengt. Het aangeven van de spanning van het röntgenapparaat is dus niet voldoende om de hardheid der uit het apparaat tredende straling te karakteriseren, doch daarnaast dient het eigen filter opgegeven te worden.

3. *Beschouwingen over de stralen-dosis.*

Zoals bekend, oefenen röntgenstralen, indien gezond weefsel aan een te grote dosis blootgesteld wordt, een schadelijke werking hierop uit. Het is dus van belang de hoeveelheid röntgenstralen nauwkeurig te kunnen meten. In het algemeen drukt men de hoeveelheid straling uit in de in 1 cm^3 lucht veroorzaakte ionisatie. Deze ionisatie-stromen kan men op verschillende wijzen meten. Een voor dit doel nieuw ontwikkeld instrument met een direct aanwijzende meter werd gedemonstreerd. De bij een normale röntgenfoto van een tand of kies toegediende dosis bedraagt ter plaatse van het uiteinde der conus circa 2 röntgen, voor het geval een snelle film gebruikt wordt. Indien men nu aanneemt, dat wanneer een volledige status opgenomen wordt, de stralenbundels gedeeltelijk over elkaar heen zullen vallen en gemiddeld een bepaalde plaats van de huid bij drie der foto's zich in de stralenbundel zal bevinden, dan bedraagt de totale dosis dus 6 r en zelfs indien men tweemaal per jaar een volledige status zou opnemen, zou de totale dosis — 12 r — nog voldoende blijven beneden de moderne normen van stralingsbescherming, welke bijvoorbeeld in Amerika voorschrijven maximaal 16 r per jaar. Bij dergelijke frequente toepassingen is het van groot belang de röntgenbundel niet veel wijder te maken dan nodig is om de gehele film te bestralen. Werkt men met geheel open bundel, dan is het aantal overlappingsen veel groter. Het bundelbegrenzings-diafragma dient dus zoveel mogelijk gebruikt te worden, hoewel dit uiteraard een iets nauwkeuriger richten van de bundel — hetgeen echter met behulp van de conus niet erg moeilijk is — noodzakelijk maakt. In dit verband zij nog opgemerkt,

dat het gebruik van snelle films niet alleen van belang is wegens het verkrijgen van kortere belichtingstijden en daardoor kleinere kans op bewegings-onscherpte, maar ook wegens de kleinere stralendosis, die dan met de foto gepaard gaat. Uit bovenstaande getallen is het duidelijk, dat het bijvoorbeeld niet geoorloofd is om, wanneer men verschillende filmsoorten wil vergelijken, voor de proeffoto's steeds zijn assistente te gebruiken. Bij de genoemde grens van 16 r moet men in aanmerking nemen, dat deze in beginsel opgesteld is voor het bedienend personeel, in het algemeen voor personen, die niet wegens een medische indicatie aan stralen blootgesteld zijn. Voor de patiënt kunnen uiteraard andere normen aangelegd worden. Het kan voorkomen, dat voor een bepaald medisch doel, bijvoorbeeld bij de behandeling van een hardnekkige wortelontsteking, successievelijk een groot aantal foto's noodzakelijk is, waardoor deze grens overschreden zou worden. Het is dan aan de tandarts te beoordelen of het eventuele nadeel opweegt tegen het medisch voordeel van een betere behandelingsmogelijkheid.

Verder willen wij nog enige aandacht wijden aan de bescherming van degene, die de foto's neemt, in casu de tandarts. Door gebruik te maken van een zeer gevoelige, vrij grote, met krypton gevulde ionisatiekamer kunnen wij met ons meetinstrument zeer geringe doseringssterkten meten. Een nog gevoeliger instrument is de Geiger-teller. Deze instrumenten zijn in staat, om doseringssterkten aan te geven die ver beneden de toelaatbare waarden liggen. Uit metingen volgt, dat de dosis ten gevolge van de door de patiënt gestrooide straling bij een tandfoto op een afstand van 50 cm van de punt van de conus circa 0,2 tot 0,4 milliröntgen bedraagt, indien het stralingsbegrenzings-diafragma gebruikt wordt. Zonder dit diafragma is zij 2 tot 2,5 maal zo groot; dus ook voor de bescherming van de tandarts is het gebruik van dit diafragma aan te bevelen. Op grond van de reeds eerder genoemde nog toelaatbare dosis van 16 r per jaar kan men per jaar dus $16 : 0,0003 = 50000$ foto's maken zonder daarvan schade te ondervinden indien men zich minstens 50 cm van de punt van de conus bevindt. Is men dichterbij, dan neemt het aantal toelaatbare foto's omgekeerd evenredig met het kwadraat van de afstand af. Waarschijnlijk ten overvloede willen wij er nog op wijzen, dat er uiteraard streng op gelet moet worden, dat noch de tandarts noch zijn assistente zich in de directe stralingsbundel bevinden. Ook het vasthouden van de film door de tandarts of zijn assistente moet als ontoelaatbaar beschouwd worden.

Eindhoven, 8 April 1949