

# Feuilleton

## DE ONTDEKKING VAN DE RÖNTGENSTRALLEN EN DE DIRECTE GEVOLGEN

### EEN HISTORISCH OVERZICHT

#### SAMENVATTING

In het artikel wordt een overzicht gegeven van de ontdekking van de röntgenstralen in 1895 door W. C. Röntgen en de gevolgen daarvan.

Direct na de ontdekking van de röntgenstralen werden door vele onderzoekers, medici alsook niet-medici op grote schaal experimenten uitgevoerd. De nieuwe stralen werden zowel voor diagnostische als therapeutische doeleinden gebruikt. Dat aan de nieuwe uitvinding ook nadelen verbonden waren, werd al vrij gauw duidelijk. De schadelijke effecten kwamen pas jaren later aan het licht.

Behalve op de gevaren van de röntgenstralen wordt ingegaan op de moeilijkheden om deze te kwalificeren en te kwantificeren en uiteindelijk richtlijnen op te stellen, die garanderen dat de gevaren voor de patiënt en de radiologische werker tot een minimum beperkt blijven.

VELDERS XL, VAN DER STELT PF, De ontdekking van de röntgenstralen en de directe gevolgen. Een historisch overzicht. Tijdschr Tandheelkd 1987; 94: 254-8.

X. L. Velders, tandarts  
P. F. van der Stelt, tandarts

Uit de vakgroep Tandheelkundige Klinische Vakken van het Academisch Centrum Tandheelkunde Amsterdam.

Trefwoorden: Röntgenologie – Geschiedenis

Datum acceptatie: 25 februari 1987.

Adres: Mw. X. L. Velders, Louwesweg 1, 1066 EA Amsterdam.

#### 1. INLEIDING

Sinds de ontdekking van de röntgenstralen in 1895 hebben deze zich een vaste plaats verworven binnen de tandheelkunde. Er is vrijwel geen deelgebied van de therapeutische tandheelkunde, waarin men het zonder de hulp van röntgenfoto's bij de diagnostiek zou kunnen of willen stellen. De oorzaak van een pijnklacht, proximale cariës, botafbraak, cysten, temporo-mandibulaire dysfunctie of een agenetische premolaar, om slechts een aantal voorbeelden te noemen, wordt vaak pas definitief gediagnostiseerd op een röntgenfoto. Naast deze voordelen zijn er echter ook nadelen aan het gebruik van röntgenstralen verbonden. Onkundig gebruik van röntgenstraling is niet ongevaarlijk, zoals in de eerste decennia na de ontdekking van de röntgenstralen maar al te duidelijk is gebleken. Het optreden van nadelige effecten wordt nog eens te meer in de hand gewerkt, doordat röntgenstraling niet zintuiglijk waarneembaar is. Bij de bevolking is na de slechte ervaringen met röntgenstralen in de beginjaren, de angst voor het onbekende en het onvatbare gebleven. Deze angst werd ooit door Holzkecht omschreven als 'laienhafte Strahlenangst'.<sup>1</sup> Thans zijn zeker in de tandheelkunde, waar alleen bij de diagnostiek gesteund wordt op de röntgenstraling, de kansen op de directe schadelijke effecten zoals erythem en alopecia niet meer te verwachten. De röntgenapparatuur en alle toebehoren zijn sterk verbeterd. Ook de tegenwoordig aanwezig te achten kennis bij de tandarts over de gevaren van overmatig gebruik van röntgenstralen is een gunstige factor.

In dit artikel wordt een overzicht gegeven van de geschiedenis van de röntgenstraling en de gevolgen van ongelimiteerd gebruik vlak na de ontdekking. Geschetst worden de problemen die men aanvankelijk had om de gevaren van deze straling te kwalificeren en te kwantificeren. Tevens wordt in het licht van de gevaren, verbonden aan het gebruik van röntgenstraling, het ontstaan van richtlijnen voor de maximaal toelaatbare doses beschreven.

De thans geldende Nederlandse wetgeving en de consequenties daarvan voor de tandartsen werkzaam in Nederland zijn elders reeds behandeld.<sup>2,3</sup>

#### 2. RÖNTGEN'S ONTDEKKING EN DE GEVOLGEN

In december 1895 maakte de Duitse fysicus Wilhelm Conrad Röntgen zijn ontdekking van een nieuwe onbekende straling, de zogenaamde X-stralen, bekend aan de Physikalisch Medische Gesellschaft in Würzburg.<sup>4</sup> Tijdens experimenten met een kathodestraalbuis, die volledig door zwart karton afgeschermd was, zag hij een fluorescencescherm in de kamer oplichten.

Verdere experimenten toonden aan, dat de nieuwe stralen door papier, hout en zelfs door metaal heen gingen. Toen Röntgen tijdens één van zijn experimenten zijn hand tussen het scherm en de buis hield, zag hij op het scherm zijn handskelet met daaromheen de weke delen. Hij zette zijn experimenten voort met de fluorescenceschermen en ook met fotografische platen, die eveneens een schaduwbeeld opleverden door blootstelling aan de X-stralen.<sup>5,6</sup> Na de eerste publikatie 'Ueber eine neue Art von Strahlen. Vorläufige Mitthei-

lung' in 1895 verschenen er nog twee verdere publikaties van zijn hand getiteld 'Ueber eine neue Art von Strahlen. II. Mittheilung' in 1896<sup>7</sup> en 'Weitere Beobachtungen über die Eigenschaften der X-strahlen' in 1897.<sup>8</sup>

Spoedig na de ontdekking van de röntgenstralen begonnen de wetenschappelijke experimenten met de Crookes kathodestraalbuis. In 1896 telde Glasser meer dan 1000 publikaties in de internationale literatuur.<sup>6,9</sup> Dit toont de grote internationale interesse voor deze nieuwe stralen. De eerste onderzoekers die zich bezighielden met de X-stralen waren voornamelijk fysici.<sup>6</sup> Zij hadden meestal de beschikking over de benodigde apparatuur: accumulatoren, Röntgen-apparaten met onderbrekers, kathodestraalbuizen en fluorescenceschermen om de röntgenstralen aan te tonen. De ontdekking van Röntgen verkreeg echter ook direct al de belangstelling van de medische wereld en begin 1896 verschenen er in Nederland drie publikaties, die het belang van de nieuwe stralen voor de medische professie onderstreepten. Deze drie publikaties waren tot stand gekomen door samenwerking tussen medici, fysici en fotografen.<sup>6</sup> De publikaties gingen in op de diagnostische mogelijkheden, die de nieuwe stralen de geneesheer boden. De proeven, beschreven in deze publikaties, vergden een exposietijd van 10 tot 90 minuten. Door een verandering van de buisvorm, het Jackson-model met een puntvormige stralenbron, nam de scherpte van de foto's aanzienlijk toe. Voor het Jackson-model werd gebruik gemaakt van een holle aluminium spiegel als kathode en een schuingericht platina plaatje als anode. In combinatie met beter ge-





Afb. 1. Röntgenverbranding van de hand door langdurig blootstellen aan röntgenstraling.



Afb. 2. Röntgenverbranding met ulceraties en brosse, in de lengterichting gestreepte nagels.

evacueerde buizen en grotere inductoren, die een groter doordringend vermogen van de röntgenstraling tot gevolg hadden, kon de exposietijd in 1896 voor een handfoto al spoedig gereduceerd worden tot 1/2 tot 5 minuten.<sup>10</sup>

De eerste tandheelkundige röntgenopnamen zijn naar alle waarschijnlijkheid reeds enkele weken na de ontdekking van Röntgen gemaakt door een Duitse tandarts, Otto Walkhoff uit Braunschweig.<sup>11</sup> Andere bronnen spreken over Walter König uit Frankfurt, een fysicus en later hoogleraar aan de universiteit te Giessen.<sup>5 12 13</sup> Voor de foto's van Walkhoff werd gebruik gemaakt van een fotografische plaat verpakt in zwart papier en rubberdam. De exposietijd was 25 minuten. Deze foto had geen enkele diagnostische waarde.

Een belangrijke Amerikaanse röntgenpionier was Dr. Edmund C. Kells uit New Orleans. In de Amerikaanse literatuur wordt wel beweerd dat hij de eerste tandheelkundige röntgenopname van een patiënt zou hebben gemaakt.<sup>14 15</sup>

In het Tijdschrift voor Tandheelkunde verschenen slechts enkele korte notities met betrekking tot de nieuwe stralen.<sup>16 17</sup> Pas in 1889 beschreef G.C. Bosch een aantal patiënten, bij wie de röntgenstralen als diagnostisch hulpmiddel gebruikt waren.<sup>18</sup> Hij gebruikte celluloid films verpakt in zwart papier en guttapercha. De exposietijd voor deze foto's bedroeg 2 tot 5 minuten.

### 3. SCHADELIJKE GEVOLGEN

Wertheim Salomonson berichtte in Nederland in 1896 voor het eerst over de mogelijke schadelijke gevolgen van de röntgenstralen.<sup>10</sup> Bedoeld werden de mededelingen van Marcuse uit Berlijn over het ontstaan van dermatitis en alopecia ten gevolge van langdurige doorlichting, klachten die leken op verbrandingen door de zon. In hetzelfde jaar berichtten Edison, Mortin en Tesla over de mogelijke schadelijke ge-

volgen van X-stralen voor de ogen.<sup>19</sup> De berichten van gelijke strekking bleven in de daarop volgende jaren regelmatig in allerlei tijdschriften verschijnen. In 1899 berichtte Schutte in Nederland over een ernstig geval van röntgenverbranding bij een vertegenwoordiger van röntgenapparatuur.<sup>20</sup> Deze had ter demonstratie van de röntgenbuis zijn eigen hand gebruikt (afb. 1 en 2). In 1903 verscheen in het Tijdschrift voor Tandheelkunde een notitie, waarin melding gemaakt werd van een behandeling van gingivitis door middel van röntgenstralen.<sup>21</sup> Dit was een van de vele artikelen waarin getracht werd afwijkingen met röntgenstralen te genezen naar aanleiding van bevindingen van Curie en Becquerel. Deze hadden gevonden, dat langdurig contact met een radioactieve stof huidbeschadigingen kon doen ontstaan.<sup>22</sup> Dit heeft geleid tot het met opzet veroorzaken van weefselbeschadiging met röntgenstraling in het kader van medische therapieën. Veel afwijkingen, variërend van epitheliomen tot dysmenorroe werden met röntgenstralen behandeld.<sup>13 23-25</sup> Nu pas werden de gevaren van de nieuwe straling echt duidelijk. Door langdurig blootstellen ontstonden ernstige röntgenverbrandingen, die maar moeizaam genazen en gepaard gingen met hevige pijnen.<sup>26-28</sup>

Niet alleen patiënten waren het slachtoffer van deze verwondingen, maar ook de onderzoekers van het eerste uur, die zich maar al te roekeloos aan deze stralen hadden blootgesteld. Tijdens het Duitse röntgencongres te Berlijn in 1910 werd dan ook de eerste Duitse radioloog herdacht, die overleden was aan de gevolgen van een röntgencarcinoom.<sup>23</sup> De grote Duitse pionier op het gebied van röntgenstralen, Albers Schönberg, overleed in 1921 aan de gevolgen van een röntgencarcinoom,<sup>29</sup> na verschillende operaties aan en amputatie van een arm. Een zelfde lot overkwam Dr. Edmund C. Kells: hij maakte in 1928 een eind aan zijn leven nadat hij herhaalde malen aan een röntgencarcinoom geope-

reerd was.<sup>14</sup> Von Jagic, Schwarze en Von Siebenrock berichtten in 1911 over vier overleden radiologen ten gevolge van leukemie. Bij een groot aantal andere radiologische werkers werden verschuivingen in het bloedbeeld geconstateerd.<sup>30</sup>

### 4. BESCHERMENDE MAATREGELEN

Al direct na de eerste aanwijzingen dat röntgenstralen schadelijk konden zijn, begon men zich tegen deze stralen te beschermen. De grote moeilijkheid was dat niemand wist in welke hoeveelheid de straling schadelijk was en hoe de straling moest worden gemeten. Bovendien was het, tot Coolidge in 1914 het principe van de gloeikathode had ontdekt, niet mogelijk een gestandaardiseerde opname te maken, zelfs niet met één en dezelfde röntgenbuis. Na herhaald gebruik van een röntgenbuis moest de buis spanning steeds verder opgevoerd worden, omdat het vacuüm van de buis toenam.<sup>5</sup> Er was wel een regeneratiesysteem ontwikkeld, maar de juiste dosering van de hoeveelheid verse lucht, die daarvoor in de buis moest worden toegelaten, was een probleem.

De belichtingstijd voor een röntgenopname werd in het begin met een gewoon horloge opgenomen. Doordat in de loop der tijd het rendement van de röntgenbuis toenam, moesten kortere belichtingstijden gebruikt worden en werd de metronoom gebruikt voor de tijdsmeting.<sup>6</sup> Na de invoering van de Coolidge-tube werd het mogelijk de hardheid van de straling onafhankelijk van de intensiteit te regelen en werd het tevens mogelijk de belichtingstijd te standaardiseren.<sup>5</sup>

De eerste beschermende maatregel tegen straling was een dikke glasplaat ter bescherming van de ogen tijdens tandheelkundige röntgenopnamen ontwikkeld in 1896 door Rollins, een Amerikaanse tandarts.<sup>19</sup> Dezelfde Rollins nam in 1898 maatregelen ter afscherming van zijn röntgenbuis: hij gebruikte hiervoor een 'lead-



ray tube housing' om zichzelf tegen zachte straling te beschermen.<sup>29</sup> In hetzelfde jaar werden in Amerika loodhandschoenen geïntroduceerd en in 1899 werden de loodhandschoenen en het loodschort genoemd in een X-stralencatalogus.<sup>19</sup> In Europa adviseerde Albers Schönberg in 1903 het gebruik van een loodwand met loodglasruit en bij het doorlichten een loodglasbril ter bescherming van de geneesheer.<sup>29</sup> Albers Schönberg ontwikkelde tevens een helm met een loodglas vizier, welke hij tijdens het doorlichten droeg. Dit voorbeeld vond navolging bij de Leidse radioloog Steenhuis.<sup>1</sup> In Europa werden pas in 1905 de loodhandschoenen en het loodschort geïntroduceerd.<sup>29</sup>

## 5. DOSIMETRIE

Vóór de ontdekking van de gloeikathode moest de hardheid van de röntgenstralen eerst experimenteel bepaald worden alvorens de opname kon worden gemaakt. Ter bepaling van de hardheid werd door de onderzoekers aanvankelijk vaak gebruik gemaakt van de eigen hand: door middel van het beeld van de middenhandsbeentjes op het doorlichtingsscherm werd de buis afgesteld. In Nederland waarschuwde een niet-medicus, Van de Volkere, voor de gevaren, die hieraan verbonden waren en adviseerde het gebruik van een 'Chiro-skoop'. De Chiro-skoop bestond uit een scherm, waarachter een handskelet was geplaatst.<sup>6</sup>

In een poging de röntgenstralen te kwantificeren werden tal van eenheden ingevoerd om de alom gebruikte erytheemdosis te definiëren. De erytheemdosis was een zuiver biologische dosering, die een zichtbare reactie op de huid van de bestraalde patiënt veroorzaakte. Deze erytheemdosis was voor iedere opname en ieder röntgenapparaat verschillend. De erytheemdosis werd ook wel aangeduid als de 'Hauteinheidsdosis' (HED).<sup>29</sup> Ondanks alle problemen hieraan verbonden, was de erytheemdosis de enige praktische maat voor de hoeveelheid straling die toenmaals kon worden gehanteerd.

De Fransman Benoist trachtte in 1896 met behulp van een 'radiochromometer' hardheidsmetingen aan röntgenstralen te doen.<sup>29,31</sup> Een andere methode om de hardheid van de röntgenbuis te bepalen was die volgens de Walter-hardheidsschaal.<sup>23, 29, 32</sup> De Walter-hardheidsseenheid was een verbeterde versie van de methode van Benoist en was gebaseerd op de verschillende schaduwwerking van aluminium en zilver op een film. Later werd de eenheid van hardheid ook uitgedrukt in Wehnelt.<sup>21, 29, 32</sup> De Kryptoradiometer volgens Wehnelt berustte eveneens op het principe van de energie-afhankelijkheid van de verzwakking van de röntgenstraling door verschillende metalen.

In 1897 experimenteerde de Duitse fysicus Dorn met een luchtthermometer om de door Röntgen reeds beschreven warmte-werking van de röntgenstralen te meten.<sup>33</sup>

In de daarop volgende jaren bestonden de pogingen tot meting van de röntgenstralen meer uit kwalitatieve bepalingen met behulp van fotografische platen en beeldschermen, tot in 1902 Holzknicht de Chromoradiometer ontwikkelde.<sup>32</sup> Daarbij werd de ontkleuring van een zoutmengsel (zoutzuur en natriumcarbonaat) gecorreleerd aan de stralingsdosis. Het mengsel kleurde groen onder invloed van straling. De eenheid werd 'H' genoemd: een hoeveelheid straling overeenkomend met 3H veroorzaakte een geringe huidreactie.<sup>32</sup> Bij de Sabouraud-Noiré dosimeters uit 1903 verkleurde barium-platinocyanide onder invloed van röntgenstralen van geel-groen naar bruin.<sup>34</sup> Andere meetinstrumenten uit die tijd waren de Spintermeter van Bécclère, de Sklerometer van Klingelfuss in Basel en de Quantimeter van Kienböck. Kienböck gebruikte strips van zilverbromidepapier ter bepaling van de dosis.<sup>29, 32</sup>

Een veelbelovende ontdekking werd in 1915 gedaan door Fürstenau.<sup>35</sup> Hij was in staat met een sileniumcel, verbonden aan een weerstandsmeter, de exposie van de röntgenbuis te meten. Helaas bleek deze opstelling zeer energie-afhankelijk te zijn en bovendien bleek de sileniumcel bij meervoudige bestraling niet meer constant te reageren.<sup>31</sup> Tot 1920 was men derhalve voor dosismetingen voornamelijk aangevoerd op de tabletten van Sabouraud-Noiré en de dosimeter volgens Kienböck.

Direct vanaf de ontdekking van de röntgenstralen in 1895 was het bekend, dat fotografische platen gevoelig zijn voor deze straling.<sup>22</sup> Röntgen zelf berichtte in 1897 over een mogelijke energie-afhankelijke werking van röntgenstralen op de fotografische emulsie. In het begin werden films gebruikt om te controleren of men aan straling blootgesteld was geweest. De Amerikaanse fabrikant van röntgenbuizen Wagner berichtte in 1907, dat hij een fotografische plaat bij zich droeg ter meting van de persoonlijke dosis.<sup>19</sup> Hoe primitief deze methode nog was, blijkt wel uit het feit dat hij zes maanden later aan kanker overleed. Toch was deze onvolkomen techniek de voorloper van de in 1922 voor het eerst ingevoerde filmbadge voor routinematige persoonsdosimetrie. De kennis over de reactie van de emulsie onder invloed van röntgenstralen was toen dusdanig vergroot, dat dit een kwantitatief gebruik van de filmbadge mogelijk maakte.<sup>22</sup> In 1925 ontwikkelde Edith Quimbly een filmbadge, waarbij door middel van filters de energie-afhankelijkheid van de badge verminderd werd.<sup>31</sup> In 1928 toonde Heinrich Franke het verband aan tussen de nieuwe eenheid Röntgen en het chemische proces van de filmzwarting.<sup>36</sup> De hierbo-

ven genoemde eenheid had lang op zich laten wachten, gezien de problemen die men nog steeds had met het vaststellen van de kwaliteit van de röntgenstraling. Verdere ontwikkelingen maakten dat de filmbadge, tijdens het Manhattan Project ter ontwikkeling van de atoombom vanaf 1942, de meest geschikte dosimeter werd bevonden. Men zocht een gemakkelijk, goedkoop en ook betrouwbaar systeem. De filmbadge beantwoordde aan al deze voorwaarden.

In 1907 al had Geiger een met gas gevulde buis ontwikkeld, die kon worden gebruikt voor de detectie en meting van röntgenstralen.<sup>31</sup> Hieruit ontstond in 1928 het prototype van de huidige Geiger-Müller-teller. Omstreeks dezelfde tijd kwamen er ook ionisatiekamers op de markt, die metingen aan röntgenstralen mogelijk maakten.

In 1940 bracht Victoreen de Minometer voor persoonsdosimetrie op de markt: de eerste commerciële pocket-ionisatiekamer.<sup>31</sup> Deze werd in het begin ter ondersteuning van de filmbadge gebruikt. De met de ionisatiekamer gemeten dagelijkse dosis gaf daarbij aan, wanneer de filmbadge moest worden ontwikkeld. Net als voor de filmbadge geldt, dat belangrijke verbeteringen aan de ionisatiekamer hebben plaatsgevonden als neveneffecten van het Manhattan Project.

Na afloop van de Tweede Wereldoorlog werd er veel onderzoek gedaan om tot een ander systeem van persoonsdosimetrie te komen. Diodes, semiconductor en ook chemische reacties werden onderzocht op hun mogelijke eigenschappen met betrekking tot ioniserende straling. Het eerste nieuwe systeem was de radiophotoluminescentiedetector (R.P.L.), gebaseerd op een chemische reactie van metafosfaat.<sup>37</sup> Dit systeem is thans bijna geheel vervangen door thermoluminescentiedosimeters (T.L.D.), waarmee vanaf 1950 werd geëxperimenteerd. In thermoluminescente materialen worden door absorptie van ioniserende straling elektronen naar een hoger energieniveau gebracht. Door verhitting van het materiaal gaan de elektronen terug naar de oude energietoestand onder uitzending van zichtbaar licht. Gedurende de laatste decennia is dit systeem van stralingsmeting sterk verbeterd, zowel met betrekking tot het T.L.D.-materiaal als de uitleesapparatuur. Voor fotonendosimetrie wordt het T.L.D.-systeem tegenwoordig het meest gebruikt.<sup>38</sup>

## 6. AANBEVELINGEN VOOR STRALEN-BESCHERMING

De eerste algemene aanbevelingen voor stralenbescherming werden gepubliceerd door de Deutsche Röntgengesellschaft in 'Merkblatt-1913'.<sup>39</sup> In 1915 werd in Groot-Brittannië een groep geformeerd, de Bri-



tish Roentgen Society, die geïnteresseerd was in stralenbescherming.<sup>19 39</sup> Op 1 juni 1915 publiceerden zij hun eerste richtlijnen voor gebruikers van röntgenapparatuur. Behalve richtlijnen voor diagnostische en therapeutische radiologie, hadden zij ook de bescherming tegen een elektrische schok bij hun werkgebied ingelijfd. Dit omdat het grootste gevaar destijds bij het gebruik van röntgenstralen de hoge spanning van het röntgenapparaat was. Zowel Schindler als Simpson beschreven in hun leerboeken het gevaar van de elektrische schok en adviseerden de stoel niet te aarden.<sup>40 41</sup> In 1922 aanvaardde de American Roentgen Ray Society de eerste 'radiation rules'.<sup>19</sup>

Arthur Mutscheller definieerde in 1925 de eerste tolerantiedosis ofwel de toegestane expositielimiet als 1/100 van de erythemdosis per maand.<sup>19 39 42</sup> Mutscheller stelde de door hem gedefinieerde tolerantiedosis als veilige dosis voor alle toepassingen van röntgenstralen. Hij merkte op dat deze tolerantiedosis niet voldoende biologisch getest was en er in de toekomst eventueel een bijstelling van de waarde te verwachten was. Onafhankelijk van elkaar kwamen ook Sievert evenals Barclay en Cox tot een ongeveer gelijklopende adviesdosis.<sup>19 39</sup>

In 1928 werd tijdens de Second International Congress of Radiology in Stockholm de voorloper van de International Commission on Radiological Protection (I.C.R.P.) opgericht: de International X-ray and Radium Protection Committee (I.C.X.R.P.). Tijdens dit congres werd tevens besloten tot invoering van de eenheid 'Röntgen', als maat voor kwantitatieve metingen aan röntgenstralen. Nu bleek, dat de experimenteel bepaalde erythemdosis alsook de HED (Hauteinheidsdosis) uit Erlangen aanzienlijk uiteen liepen.<sup>29</sup> Bij een onderzoek van Martius in Duitsland, na invoering van de eenheid Röntgen, bleken de experimenteel bepaalde erythemdoses te variëren van 250 tot 800 R.

Voor invoering van de officiële eenheid Röntgen bepaalde Küstner experimenteel een erythemdosis in een door hem gebruikte eenheid welke ook Röntgen heette en hij kwam tot de conclusie, dat deze 550 Röntgen volgens Küstner bedroeg.<sup>39</sup> De Küstner-eenheid van Röntgen verschilde niet veel van de een jaar later ingevoerde officiële eenheid 'R'.

In 1930 propageerden twee Nederlandse onderzoekers, Bouwers en Van der Tuuk, een tolerantiedosis van 0.2 R/dag. Zij hebben de dosimetriefilm zodanig aangepast, dat deze dosis ook daadwerkelijk meetbaar was.<sup>43</sup> In 1931 publiceerde de Advisory Committee van de I.C.R.P. in Amerika de eerste aanbevelingen voor een maximaal toelaatbare dosis van 0.2 R/dag.<sup>19</sup> Dit advies werd in 1934 overgenomen door de gehele I.C.R.P.<sup>19</sup> Op basis van de bereke-

ningen met de bepalingen van Mutscheller en Küstner kwamen zij eveneens tot een toelaatbare dosis van maximaal 0.2 R/dag. Dezelfde berekeningen leidden in 1936 in de Amerikaanse afdeling tot het advies deze dosis te verlagen tot 0.1 R/dag, doordat deze groep het getal royaal naar beneden had afgerond.<sup>19 44</sup> Al in 1931 verscheen er een uitgebreid rapport van de Europese Volkerenbond over een studie naar röntgenstraling en het belang van stralingsbescherming. Een advies met betrekking tot de maximaal toelaatbare dosis gaf dit echter niet.<sup>19</sup> Een van de mede-oprichters van de I.C.X.R.P., Taylor, adviseerde in 1941 een verdere verlaging van de maximaal toelaatbare dosis tot 0.02 R/dag, ongeveer overeenkomend met 50 mSv/jaar.<sup>19</sup> De I.C.R.P. kwam pas in 1950 met een verlaging van de geadviseerde dosis, echter tot 3 mSv/week.<sup>19 44</sup> Men realiseerde zich later dat, bij 50 jaar blootstellen aan deze dosis, de in totaal geabsorbeerde dosis te hoog zou worden. In 1959 werd de geadviseerde maximaal toegestane dosis daarom gereduceerd tot 50 mSv/jaar voor radiologische werkers en 50 mSv in 30 jaar voor de gewone bevolking.

Er werd eveneens rekening gehouden met twee bijzondere groepen, namelijk personen, die toegang hebben tot gebieden waar straling wordt gebruikt en personen, die wonen in gebieden waar straling wordt gebruikt. Voor deze groepen werd een maximaal toelaatbare dosis van 15 en 5 mSv/jaar geadviseerd. Voor de radiologische werker werd voor het eerst onderscheid gemaakt tussen toelaatbare doses voor verschillende organen. In de adviezen van de I.C.R.P. uit 1966 kwamen de twee bijzondere groepen niet meer voor en bleven de adviezen beperkt tot radiologische werkers en de bevolking. Na 1959 zijn de geadviseerde maximaal toelaatbare do-

ses niet meer verder verlaagd.<sup>44</sup> De in de Nederlandse wet voorgeschreven doses komen overeen met de I.C.R.P.-waarden van 1966.

De meest recente I.C.R.P.-publikatie met betrekking tot dosislimieten is nr. 26 verschenen in 1977.<sup>45</sup> In deze publikatie wordt gesproken over stochastische en niet-stochastische effecten van ioniserende straling. Bij stochastische effecten bestaat er een zekere kans op het optreden van deze effecten. Deze kans is gerelateerd aan de grootte van de doses. Non-stochastische effecten veronderstellen een drempeldosis alvorens de effecten optreden. De ernst van het effect hangt af van de grootte van de dosis. In combinatie met bovengenoemde begrippen is het begrip 'effectief dosisequivalent' ingevoerd. Het totale risico wordt in één getal uitgedrukt, als som van alle dosisequivalenten van de bestraalde organen. Voor de berekening van dit getal is aan alle organen een weegfactor toegekend, die de gevoeligheid van het orgaan voor het ontstaan van mogelijke stochastische effecten aangeeft. Het lichaam wordt gezien als één orgaan en de weegfactor voor het totale lichaam is dan ook 1.

Vanaf het begin heeft de I.C.R.P. twee grondbeginselen geformuleerd, waarvan in alle publikaties wordt uitgegaan. Zo dient de stralingsdosis in alle gevallen zo laag mogelijk gehouden te worden. Dit principe wordt ook wel aangeduid als het A.L.A.R.A.-principe: 'as low as reasonably achievable (economic and social factors taken into account)'. Indien de wettelijke bepaling op verschillende manieren kan worden uitgelegd, dan verdient die uitleg de voorkeur, die het meest de I.C.P.R.-aanbevelingen tot hun recht doet komen. Dit vereist van een ieder maximale inspanning bij de toepassing van ioniseren-

## SUMMARY

### X-RAY DISCOVERY AND ITS DIRECT CONSEQUENCES. HISTORICAL REVIEW

Keywords: Radiology - History

In 1895 W. C. Röntgen announced his discovery of the X-rays. In this article the direct consequences of this discovery are discussed. Immediately after the announcement physicians as well as non-physicians started experimenting with X-rays. The X-rays were used for diagnostic and therapeutic reasons.

Soon afterwards it became clear that there were disadvantages associated with the new rays too. The risk of X-ray use revealed itself some years later.

In close connection with the discussion on the discovery of X-rays, the problems to qualify and to quantify the rays are mentioned and finally general recommendations are given for a safe use of X-rays.

## LITERATUUR

- STEENHUIS DJ. Bescherming van patiënt en dokter tegen de gevaren der röntgenstralen. Ned Tijdschr Geneeskd 1922; 66, I: 472-6.
- ARNOLD LV, DUINKERKE ASH. De modernisering van röntgenapparatuur. Ned Tandartsenbl 1984; 39: 273-7.
- DUINKERKE ASH, ARNOLD LV. Nieuwe wettelijke bepalingen op het gebied van de stralenbescherming. Ned Tandartsenbl 1984; 39: 238-41.



de straling. Tevens mag ioniserende straling slechts dan toegepast worden, wanneer het een duidelijk nut heeft boven andere methoden om hetzelfde doel te bereiken. Bovengenoemde principes zijn in de Nederlandse wetgeving terug te vinden.

## 7. CONCLUSIES

De grote gevaren verbonden aan het gebruik van röntgenstralen kort voor de eeuwwisseling, berustten met name op onkundig gebruik van de stralen in combinatie met ongelimiteerde toepassing. Dit roekeloze gedrag in de eerste jaren na de ontdekking van de X-stralen heeft aan menig onderzoeker en patiënt het leven gekost.

In de loop van bijna een eeuw is de kennis over de röntgenstralen toegenomen, in combinatie met enorme verbeteringen aan röntgenapparatuur. Toch blijft het een feit, dat het gebruik van röntgenstralen zowel in de geneeskunde als in de tandheelkunde jaarlijks voor een aantal patiënten fataal is. Dit behoort voor de tandarts niet in te houden dat hij geen röntgenfoto's meer mag maken. Wel mag van hem verwacht worden dat hij zich bij het maken van röntgenfoto's de noodzaak van dit onderzoek realiseert en de juiste voorzorgsmaatregelen in acht neemt. Gibbs stelt in 1982: 'The risk of failure to make an accurate diagnosis may be greater than the risk from exposure to the radiation from a justified and properly conducted radiographic examination. It therefore appears reasonable that the information gained from a justified and properly conducted radiographic examination outweighs the risk.'<sup>46</sup>

De enige voorwaarde is, dat een juiste procedure bij het vervaardigen van röntgenopname wordt toegepast.

De opleiding Tandheelkunde zou garant moeten staan voor een juiste toepassing van röntgenstralen in de praktijk. Onderzoek in de Verenigde Staten en Groot-Brittannië leert echter dat juist deze voorwaarde nogal eens te wensen overlaat. Of dit ook in Nederland van toepassing is, zal door onderzoek uitgemaakt moeten worden.

Met dank aan Prof. J. van Aken, die foto's van A. G. Richards (V.S.) ter beschikking stelde.

- <sup>4</sup> RÖNTGEN WC. Ueber eine neue Art von Strahlen. Vorläufige Mittheilung. Sitzsberg Physik-Med Ges Würzburg 1895; 132-41.
- <sup>5</sup> GLASSER O. Fifty years of Roentgen rays. Dental radiography and Photography 1946; 19: 1-5.
- <sup>6</sup> VAN WYLINCK WAM. Röntgen en Nederland. Röntgens betrekkingen tot Nederland en de opkomst der Röntgenologie hier te lande. Amsterdam: Academisch proefschrift, 1966.
- <sup>7</sup> RÖNTGEN WC. Ueber eine neue Art von Strahlen II. Mittheilung Sitzsberg Physik-Med Ges Würzburg 1896; 11-6.
- <sup>8</sup> RÖNTGEN WC. Weitere Beobachtungen über die Eigenschaften der X-Strahlen. Sitzsberg Preuss Akad Wiss, Physik-Math K1 1897; 576-92.
- <sup>9</sup> ALCOX RW. Biological effects and radiation protection in the dental office. Dent Clin North Am 1978; 22: 517-32.
- <sup>10</sup> WERTHEIM SALOMONSON JKS. Radiographie. Ned Tijdschr Geneesk 1896; 40, II: 475-8.
- <sup>11</sup> ENNIS LM, BERRY HM, PHILLIPS JE. Dental roentgenology. London: Lea and Febiger, 1967.
- <sup>12</sup> JUNG T. X-rays in dentistry. J Am Dent Assoc 1982; 104(4): 438.
- <sup>13</sup> MICHAELIS. Röntgenstralen in de tandheelkunde. Lezing tijdens de vergadering van de Vereniging van Nederlandse Tandartsen. Tijdschr Tandheelkd 1911; 17: 395-406.
- <sup>14</sup> SCHOLLER RH. The politics of dental radiology. Editorial. J Am Dent Assoc 1981; 103: 534.
- <sup>15</sup> McCALL JO, WALD SS. Clinical dental roentgenology. Technic and interpretation. Vierde druk. Philadelphia, London: WB Saunders Company, 1961.
- <sup>16</sup> Korte mededelingen: X-stralen. Tijdschr Tandheelkd 1898; 4: 155.
- <sup>17</sup> BÖLGER TCA. Iets over radiographie. Tijdschr Tandheelkd 1898; 4: 273-4.
- <sup>18</sup> BOSCH GC. De röntgenstralen in de Tandheelkunde. Tijdschr Tandheelkd 1899; 5: 306-11.
- <sup>19</sup> KATHREN RL, ZIEMER PL. Introduction: the first fifty years of radiation protection. In: Kathren RL, Ziemer PL, eds. Health Physics. A backward glance. Thirteen original papers. Oxford: Pergamon Press, 1980: 1-9.
- <sup>20</sup> SCHUTTE MJF. Een geval van sterke inwerking der röntgenstralen. Ned Tijdschr Geneesk 1899; 43, I: 1284-7.
- <sup>21</sup> PARKER CH. The treatment of interstitial gingivitis by the X-ray and high frequency currents. Maandelijkse referaten van tijdschriften: Witthaus. Tijdschr Tandheelkd 1903; 9: 412-3.
- <sup>22</sup> BECKER K. Historischer Ueberblick. In: Becker K. Film dosimetrie. Grundlagen und Methoden der fotografischen Verfahren zur Strahlendosismessung. Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer Verlag, 1962: 4-7.
- <sup>23</sup> GOHL JG. Mededelingen betreffende het 6e Röntgencongres te Berlijn. Ned Tijdschr Geneesk 1910; 54, II: 1568-77.
- <sup>24</sup> BURGER H. De betekenis der Roentgenstralen voor de Rhino-Laryngologie. Ned Tijdschr Geneesk 1908; 52, I: 1461-8.
- <sup>25</sup> MENDES DA COSTA S, PASTOOR TH. Gevaren der behandeling van epitheliom met X-stralen. Medisch weekblad voor Noord en Zuid Nederland 1914; 4: 41-5.
- <sup>26</sup> VON HABERER H. Ein Fall von Röntgenkarzinom. Wiener klinische Wochenschrift 1912; 21: 783-5.
- <sup>27</sup> GOHL JG. De behandeling van verbranding door X-stralen. Ned Tijdschr Geneesk 1912; 56, I: 867-71.
- <sup>28</sup> VAN LEEUWEN THM. Een geval van röntgenverbranding. Ned Tijdschr Geneesk 1913; 57, I: 1867.
- <sup>29</sup> SCHNEIDER GH. Zum Strahlenschutz aus geschichtlicher Schau. Strahlentherapie 1965; 128: 460-77.
- <sup>30</sup> VON JAGICN, SCHWARZ G, VON SIEBENROCK L. Blutbefunde bei Röntgenologen. Berliner klinische Wochenschrift 1911; 49: 1220-2.
- <sup>31</sup> KATHREN RL. Before transistors, JC's and all those other good things: the first fifty years of radiation monitoring instrumentation. In: Kathren RL, Ziemer PL, eds. Health Physics. A backward glance. Thirteen original papers. Oxford: Pergamon Press, 1980: 73-89.
- <sup>32</sup> KIENBÖK R. Ueber Dosimetrie und das quantimetrische Verfahren. Fortschritte a d Geb d Röntgenstrahlen 1905-1906; 9: 276-95.
- <sup>33</sup> DORN E. Ueber die erwärmende Wirkung der Röntgenstrahlen. Wied Annalen 1897; 14: 160-76.
- <sup>34</sup> SABOURAUD R, NOIRÉ H. Traitement des teignes tondantes. Par les rayons X. La Presse Med 1904; 12: 825-7.
- <sup>35</sup> FÜRSTENAU R. Ueber die Verwendbarkeit des Selen zu Röntgenstrahlen-Energiemessungen. Physikalische Zeit 1915; 16: 276-9.
- <sup>36</sup> FRANKE H. Ueber die Bestimmung der Toleranzdosis auf photographischem Wege. Fortschritte Geb Röntgenstrahlen 1928; 38: 22-4.
- <sup>37</sup> AUXIER JA. Personnel monitoring: past, present and future. In: Kathren RL, Ziemer PL, eds. Health Physics. A backward glance. Thirteen original papers. Oxford: Pergamon Press, 1980: 167-9.
- <sup>38</sup> TERRY RD. Historical development of commercial health physics instrumentation. In: Kathren RL, Ziemer PL, eds. Health Physics. A backward glance. Thirteen original papers. Oxford: Pergamon Press, 1980: 159-65.
- <sup>39</sup> TAYLOR LS. Reminiscences about the early days of organized radiation protection. In: Kathren RL, Ziemer PL, eds. Health Physics. A backward glance. Thirteen original papers. Oxford: Pergamon Press, 1980: 109-22.
- <sup>40</sup> SCHINDLER J. Leitfaden der zahnärztlichen Röntgentechnik. Leipzig: Georg Thieme Verlag, 1927.
- <sup>41</sup> SIMPSON CO. The technique of oral radiography. Chapter X: Dangers and protection. London: Henry Kimpton, 1928.
- <sup>42</sup> MUTSCHELLER A. Physical Standards of protection against X-ray hazards. Am J Roentgen 1925; 13: 65-70.
- <sup>43</sup> BOUWERS A, VAN DER TUUK JH. Strahlenschutz. Fortschritte Geb Röntgenstr 1930; 41: 767-76.
- <sup>44</sup> WEBER J, RASMUSSEN CE. Strahlenbescherming. Inleiding tot de stralingshygiëne. Delft: DUM, 1979.
- <sup>45</sup> INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. Recommendations of the International Commission Radiological Protection. ICRP Publication 26. Oxford: Pergamon Press, 1977.
- <sup>46</sup> GIBBS SJ. Biological effects of radiation from dental radiography. J Am Dent Assoc 1982; 105: 275-91.