

100 jaar röntgenstraling:

Kwaliteit intra-orale röntgenopnamen toegenomen, stralenbelasting afgenomen

Samenvatting. De afgelopen honderd jaar is de kwaliteit van tandheelkundige röntgenopnamen in vergelijking met de kwaliteit van één van de eerste röntgenopnamen sterk verbeterd. Ook de blootstelling aan straling per opname is de afgelopen honderd jaar aanzienlijk afgenomen. De verbetering van de kwaliteit en de afname van de blootstelling per opname zijn het gevolg van veranderingen aan de röntgenapparatuur en aan die van de röntgenfilms. De veranderingen die de afgelopen honderd jaar hebben geleid tot verbetering van de kwaliteit en vermindering van de blootstelling, worden in dit artikel besproken.

VELDERS XL. 100 jaar röntgenstraling: kwaliteit intra-orale röntgenopnamen toegenomen, stralenbelasting afgenomen. Ned Tijdschr Tandheelkd 1995; 102: 471-5.

Uit de vakgroep Tandheelkundige Radiologie van het Academisch Centrum Tandheelkunde Amsterdam (ACTA).

Trefwoorden: Radiologie – Geschiedenis

Datum van acceptatie: 6 september 1995.

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

1 Inleiding

De ontdekking van de röntgenstraling door Wilhelm Conrad Röntgen is behalve voor de geneeskunde ook voor de tandheelkunde van groot belang geweest. Het is nu, honderd jaar na de ontdekking, niet meer denkbaar om de tandheelkunde zonder het gebruik van röntgenfoto's uit te oefenen. In deze periode is de kwaliteit van röntgenopnamen toegenomen, terwijl het risico per opname voor zowel de patiënt als de tandarts is afgenomen.¹⁻⁴

De toegenomen kwaliteit moge geïllustreerd worden aan de hand van één van de eerste tandheelkundige röntgenopnamen, die kort na de ontdekking van de röntgenstraling is gemaakt (afb. 1a). Op deze opname uit 1896 zijn in tegenstelling tot een bitewing röntgenopname uit 1995 (afb. 1b) alleen de contouren van de elementen zichtbaar.

Het afgenomen risico moge geïllustreerd worden aan de hand van de belichtingstijd voor de opname uit 1896. Voor deze opname werd de patiënt gedurende meer dan 25 minuten blootgesteld aan straling, tegen minder dan 0,5 seconde vandaag de dag.

In dit artikel wordt ingegaan op veranderingen in de röntgenapparatuur en van de röntgenfilms, die bijgedragen hebben aan de verbetering van de kwaliteit en/of aan de vermindering van het risico in de afgelopen honderd jaar.

2 Het röntgenapparaat

De eerste tandheelkundige röntgenopname werd gemaakt in 1896, kort na Röntgen's ontdekking en bekendmaking van een nieuw soort straling.⁵ Het duurde echter nog tot omstreeks 1920 alvorens deze straling regelmatig in de praktijk werd toegepast.^{6,7} Dit is vooral te wijten aan het ontbreken van goede apparatuur voor het maken van tandheelkundige röntgenopnamen. In de eerste jaren na de ontdekking bestond een groot gevaar op elektrocutie, doordat de hoogspanningskabels van de apparatuur niet geïsoleerd waren. De kans op elektrocutie ontstond, doordat voor de opwekking van röntgenstraling gebruik werd gemaakt van een losse transformator die met hoogspanningskabels aan de eigenlijke röntgenbuis was verbonden (afb. 2).

Behalve de kans op elektrocutie was ook de kwaliteit van de röntgenbuis verantwoordelijk voor het feit dat de röntgenstraling tot omstreeks 1920 in de tandheelkunde nog niet algemeen

werd toegepast.^{6,8} De focus van de röntgenbuis was te groot om scherpe opnamen van gebitselementen te kunnen maken en de output van de röntgenbuis was niet constant.

De variatie in output werd vooral veroorzaakt doordat in het begin röntgenstraling werd opwekt in met gas gevulde röntgenbuizen.¹⁰ De hoogte van het vacuüm in deze buizen was bepalend voor de kwaliteit van de opgewekte röntgenstraling. Door veelvuldig gebruik nam het vacuüm in de röntgenbuis toe en daarmee het doordringend vermogen van de röntgenstraling. Om constante opname-omstandigheden te verkrijgen, moest daarom het vacuüm van de röntgenbuis zo veel mogelijk constant worden gehouden. Dit gebeurde vaak op het oog, aan de hand van de kleur van de röntgenbuis (afb. 3). Een röntgenbuis met een laag vacuüm had een blauwe kleur, overgaand in lichtgroen bij een gemiddeld vacuüm tot diep, appelgroen bij een hoog vacuüm. Alvorens de buis te kunnen gebruiken, moest de hoogte van het vacuüm eerst getest en dan eventueel aangepast worden. In de jaren twintig zijn de met gas gevulde röntgenbuizen bijna geheel vervangen door de zogenaamde Coolidge-buizen, de voorlopers van onze huidige röntgenbuizen.¹¹ Bij dit type röntgenbuis treden bij herhaald gebruik geen veranderingen in het vacuüm op, waardoor de output van de buis constant blijft.

Ook in de eerste Coolidge-buizen werd de anode nog onder een hoek van 45° ten opzichte van de elektronenstroom geplaatst. Om overbelasting van de anode te voorkomen, waren de belichtingstijden lang en was de oppervlakte van de focus relatief groot. Door de lange belichtingstijden was de kans op bewegingsonscherpte groot. De relatief grote focus was bepalend voor de geometrische onscherpte. Bij oudere röntgenapparatuur werd een focusdiameter tot 5 mm nog aangeduid als 'fijn'.⁹ Door de hoek van de anode ten opzichte van de opvallende elektronenstroom te verkleinen, bedraagt de effectieve focus tegenwoordig minder dan 1 mm.⁶ De effectieve focus is de oppervlakte van de focus gezien vanuit het af te beelden object. Bij een kleine anodehoek is de werkelijke focus groter dan de effectieve focus. Door de geringe anodehoek is een goede warmteafvoer via de relatief grote, werkelijke focus mogelijk, waardoor de focus minder snel overbelast raakt. Bij een goede afvoer van warmte is een hogere buisstroom toelaatbaar, waardoor de belichtingstijd kan worden gereduceerd. Door de grotere belastbaarheid van de focus neemt dus de kans op bewegingsonscherpte af.

Tot 1923 bleef het gebruik van röntgenstraling aan een

5



1a

beperkt aantal specialisten voorbehouden, vooral door de kosten van de apparatuur. Hierin kwam verandering vanaf 1923, met de introductie van veiliger röntgenapparatuur.^{6,7} Tot die tijd werden de röntgenbuizen afgeschermd met behulp van een loodglazen omhulling (afb. 4). Deze omhulling bood de operateur een zekere bescherming tegen overmatige blootstelling aan röntgenstraling, ook al waren de zijanten vaak open. De Philips Metalix was het eerste röntgenapparaat waarbij de loodglazen omhulling is vervangen door een gearde, metalen omhulling (afb. 5). Tevens werd de glazen röntgenbuis in het midden versterkt door lood, hetgeen een extra afscherming bood tegen verstrooide straling. Door toepassing van deze loden omhulling nam de lengte van de röntgenbuis en de metalen omhulling af, waardoor het geheel kleiner en hanteerbaarder werd. Ook de transformator had een geringere afmeting dan voorheen, waardoor het röntgenapparaat op een rijdbare voet kon worden geplaatst of zelfs aan de muur kon worden bevestigd. Het gebruikersgemak werd verder verhoogd, doordat de verbinding tussen de röntgenbuis en de transformator bestond uit een buigbare, geïsoleerde kabel. Deze maakte bewegingen van 180° in het horizontale vlak, en van 160° in het verticale vlak mogelijk. Met de introductie van deze röntgenapparatuur is het gebruik van röntgenstraling eenvoudiger en veiliger geworden.

De toepassing van röntgenstraling in de praktijk werd nog eenvoudiger en veiliger met de introductie van de Philips Centralix in 1933 en de Siemens Röntgenkugel in 1934 (afb. 6). Bij deze apparatuur bevinden zich de röntgenbuis en de transformator in de metalen omhulling, evenals de hoogspanningskabel. De kans op elektrocutie behoorde met deze ontwikkeling tot het verleden. De nieuwe apparatuur was door het verdwijnen van de externe hoogspanningsverbinding nog



1b

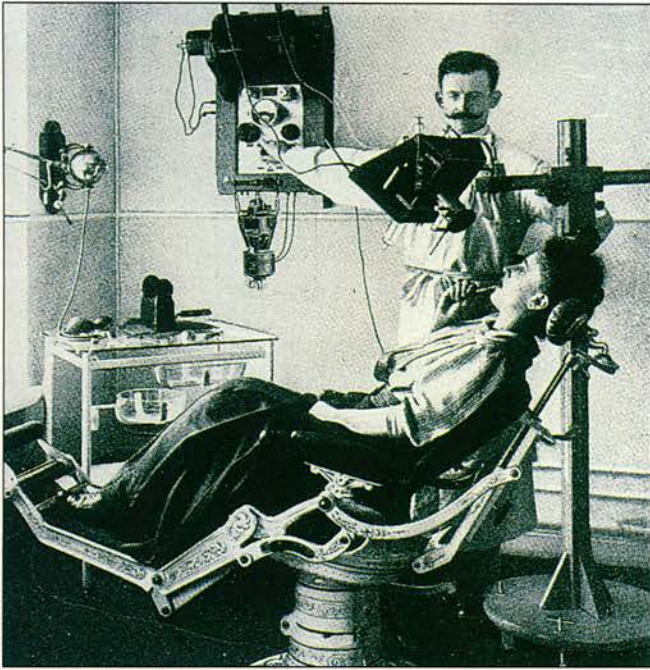
Afb. 1a. Een van de eerste tandheelkundige röntgenopnamen. De opname werd gemaakt door de Duitse tandarts Walkhoff.

Afb. 1b. Een bitewing röntgenopname anno 1995.

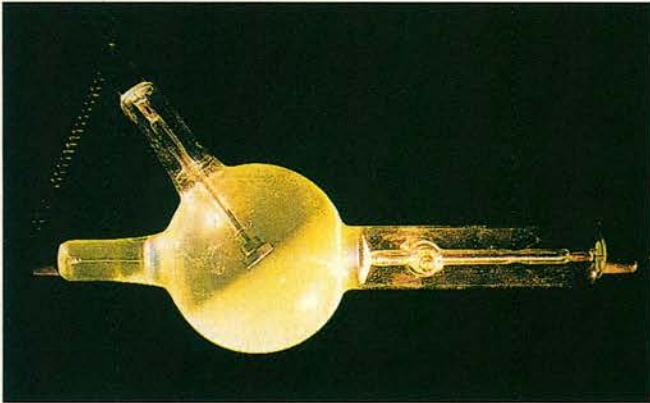
eenvoudiger te bedienen. In het horizontale vlak kon het apparaat nu 360° gedraaid worden, in het verticale vlak 340°.

Sinds de jaren dertig is de vorm van de röntgenapparatuur nauwelijks gewijzigd. Het grote verschil tussen de huidige apparatuur en de apparatuur uit de jaren dertig is de toepassing van de open tubus in plaats van de dichte puntconus. De apparatuur uit de jaren twintig is in de meeste gevallen voorzien van een lange, open cilinder. Teneinde de kans op elektrocutie van de patiënt zoveel mogelijk te beperken, bedroeg de focus-huid-afstand vaak meer dan 40 cm. De cilinder bestond uit loodglas of uit met lood bekleed aluminium en was verbonden met de loodglazen afscherming om de röntgenbuis (afb. 6). Met de introductie van de elektrisch veilige röntgenapparatuur kon de afstand tot de huid van de patiënt gereduceerd worden. De apparatuur werd dan voorzien van een korte, dichte puntconus, die het richten moest vereenvoudigen. De focus-huid-afstand bij deze apparatuur bedroeg 10 tot 20 cm. De dichte puntconus bleef lange tijd populair, ondanks de vertekening in het beeld die door de geringe focus-huid-afstand wordt veroorzaakt en de verstrooiing van röntgenstraling in de punt van de dichte conus. Thans is de meeste röntgenapparatuur voorzien van een open tubus, bij voorkeur rechthoekig, en de focus-huid-afstand bedraagt afhankelijk van de buisspanning 20 cm of meer. Hierdoor blijft de vertekening beperkt.

De meeste röntgenbuizen uit de jaren dertig waren niet voorzien van een extra diafragma.^{4,12} Bij de eerste röntgenbuizen werd de veldgrootte met behulp van een opening in de loodglazen omhulling en met de loodglazen cilinders gediafragmeerd. Voor intra-orale röntgenopnamen werd een cilinder met een maximale diameter van 6,3 cm gebruikt, voor andere toepassingen werd een grotere diameter gebruikt. Met



2



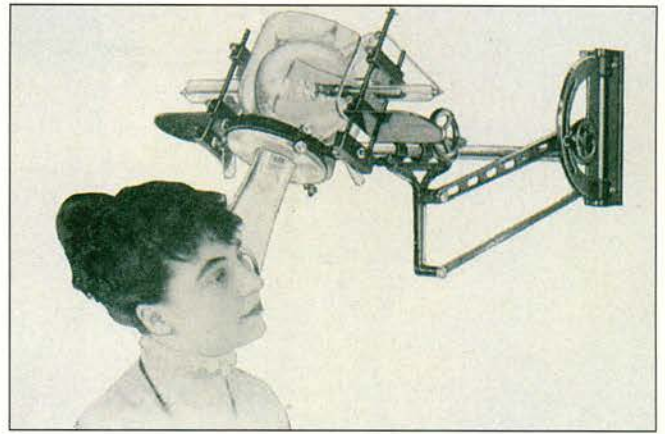
3

Afb. 2. Röntgenapparatuur uit 1911.

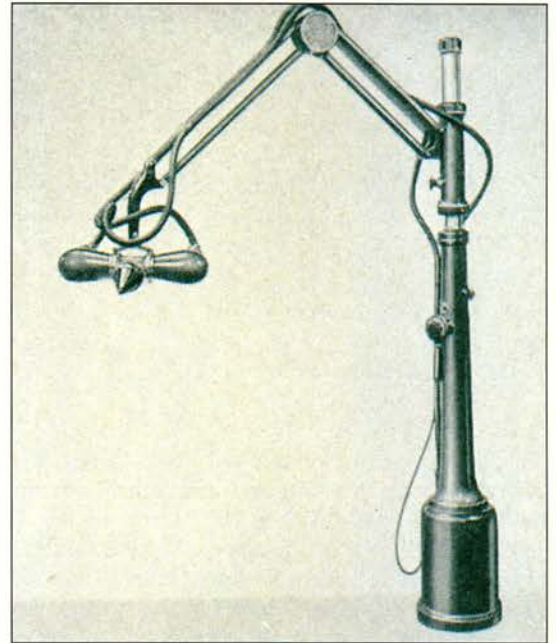
Afb. 3. Een met gas gevulde röntgenbuis. De kleur van de röntgenbuis hangt af van de hardheid van de röntgenbundel.

de introductie van de elektrisch veilige röntgenapparatuur voorzien van een conus, verviel deze mogelijkheid om de bundel te diaframeren. De bundeldiameter bedroeg bij deze apparatuur ruim 9 cm. In de loop der jaren is de bundeldiameter steeds verder afgenomen (met behulp van één of meer verwisselbare diafragma's), uiteindelijk tot de in Nederland maximaal toegestane bundeldiameter van 6 cm. Het verdient echter aanbeveling om de bundel met behulp van een rechthoekige tubus of een tertiair diafragma te reduceren tot het oppervlak van de röntgenfilm (12 cm²). Moderne röntgenapparatuur wordt vaak standaard voorzien van een rechthoekige tubus.

De buisspanning van de röntgenbuizen is in vergelijking met honderd jaar geleden nauwelijks veranderd. De buisspanning van de met gas gevulde buizen was wisselend, afhankelijk van het vacuüm in de röntgenbuis.^{4,6,8-11} Met de introductie van de Coolidge-buizen (1913) traden er geen veranderingen meer op in de buisspanning door herhaald gebruik. Bij de tandheelkundige röntgenapparatuur voorzien van dit type röntgenbuis bedroeg de buisspanning meestal niet meer dan 70 kV (45 tot 72 kV). De buisspanning werd ook wel aangeduid met behulp van de afmeting van de inductiespoel van de transformator ('4 inches' kwam overeen met 60 kV, '5 inches'



4



5

Afb. 4. Loodglazen omhulling van röntgenbuis met loodglazen cilinder.

Afb. 5. Philips Metalix uit 1923.

met 72 kV). Met de introductie van de veiligere apparatuur, neemt de buisspanning af tot 45 of 50 kV. Vooral in Europa werd lange tijd de voorkeur gegeven aan deze relatief geringe buisspanning in combinatie met een geringe-focus-huidafstand (10 cm). Pas de laatste jaren neemt de buisspanning uit stralenhigienische overwegingen toe tot 65 à 70 kV, wanneer het enkel-pulsapparatuur betreft, in combinatie met een relatief grotere focus-huidafstand (20 cm). De optimale buisspanning van multi-pulsapparatuur is lager.¹³

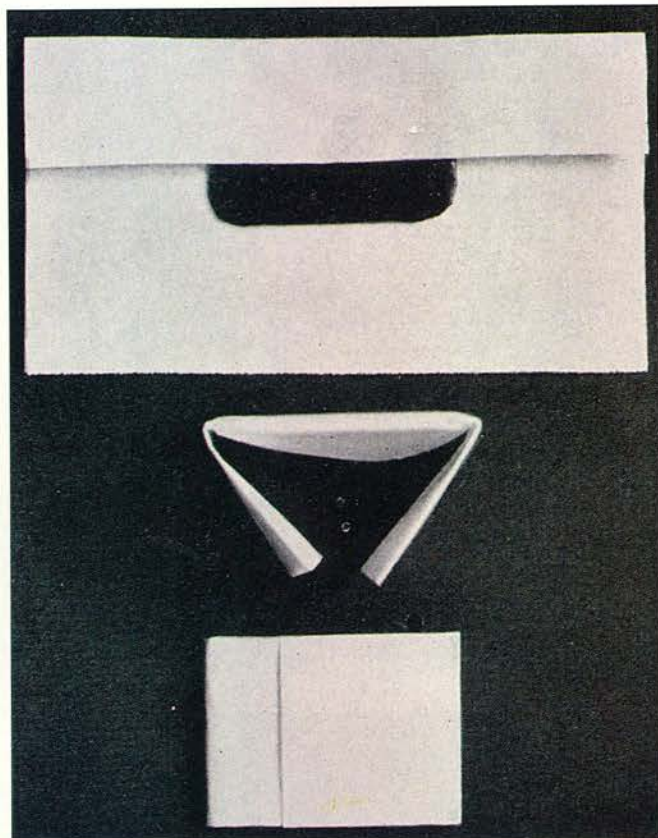
Alhoewel de buisspanning in de afgelopen honderd jaar nauwelijks veranderd is, is het doordringend vermogen van de röntgenstraling door toepassing van filters wel veranderd. Bij de eerste röntgenbuizen werd de bundel slechts gefilterd in het glas van de röntgenbuis. Bij de elektrisch veilige röntgenapparatuur die vanaf 1923 werd gebruikt, werd de bundel eveneens gefilterd in de punt van de conus. Vanaf de jaren dertig worden de röntgenbuizen behalve door een metalen omhulling ook omgeven door olie. Deze olie zorgt voor verdere filtering van de röntgenbundel. Bij deze apparatuur bedroeg de inherente filtering tussen 0,25 en 0,5 mm Al equivalent.⁴ Reeds in de jaren twintig werd in leerboeken melding gemaakt van de noodzaak een aluminium filter te gebruiken om de laag ener-



6

Afb. 6. Siemens Röntgenkugel uit 1934.

Afb. 7. Met de hand verpakte röntgenfilms.



7

getische röntgenstraling die in de huid van de patiënt geabsorbeerd wordt en niet bijdraagt aan de beeldvorming, te filteren.¹⁴ Dit filter werd over de opening van de open tubus geschoven. Toch werd de apparatuur pas in 1957 standaard voorzien van een filter, waardoor de totale filtering 1,5 mm Al equivalent bedroeg. In Nederland moet thans, honderd jaar na de ontdekking van de röntgenstraling, de röntgenapparatuur met een buisspanning tot 70 kV voorzien zijn van een toegevoegd filter van minimaal 1,5 mm AL equivalent, en bij een buisspanning van 70 kV of hoger van 2 mm Al equivalent.

3 De röntgenfilm

De ontwikkelingen van de röntgenapparatuur gaan samen met ontwikkelingen op het gebied van de röntgenfilms. Röntgen zelf ontdekte dat fotografische platen gevoelig waren voor de door hem ontdekte straling. De platen waren echter relatief ongevoelig voor röntgenstraling, zodat zeer lange belichtingstijden gebruikt moesten worden. Röntgen verzocht fabrikanten daarom speciale, gevoeliger filmplaten voor toepassingen met röntgenstraling te ontwikkelen.⁵ Ook de eerste tandheelkundige röntgenopnamen werden op fotografische glasplaten gemaakt. Deze platen werden verpakt in zwart papier en rubberdam.^{6,7}

Tot 1913 werden behalve glasplaten ook gewone films gebruikt. Deze films werden in stukjes geknipt en verpakt in zwart papier en rubberdam. Doordat films flexibel zijn en eenvoudiger in de mond geplaatst kunnen worden, hebben zij de glasplaten verdrongen. Vanaf 1913 verkocht Eastman de eerste met de hand verpakte röntgenfilms (afb. 7).⁸ Deze röntgenfilms waren gevoeliger voor straling dan gewone films, doordat de emulsielaag dikker was en meer zilver bevatte. Vanaf 1921 werden de films machinaal verpakt. Het betrof de zogenaamde 'Regular' films met een enkele emulsielaag. Hierin kwam in 1925 verandering met de introductie van de

'Radia-tized' film. Deze film had een dubbele emulsielaag, waardoor de film een factor twee gevoeliger was voor straling dan de 'Regular' film. De voorzijde van deze röntgenfilm werd door middel van een verhevenheid in de film aangegeven. In die tijd werden de 'fast' films vooral gebruikt in combinatie met röntgenbuizen met een laag doordringend vermogen. Men adviseerde beginners op het gebied van de röntgendiagnostiek 'slow' films te gebruiken alvorens met snellere films te experimenteren.⁸ De gevoeligheid van de röntgenfilms nam nog een aantal keren toe: in 1940 een factor twee (Ultraspeed), in 1955 een factor zes (vernieuwde Ultraspeed) en in 1981 een factor twee (Ektaspeed). Sinds 1919 zijn de Kodak-films een factor 48 gevoeliger geworden. Tal van andere merken hebben films met verschillende gevoeligheden op de markt gebracht, maar deze merken worden in Nederland minder gebruikt.

4 De timer

Doordat output van de röntgenapparatuur veranderde en de röntgenfilms steeds gevoeliger werden, veranderde ook de eisen die aan de bediening van de röntgenapparatuur gesteld worden. In het begin werden belichtingstijden van enkele minuten gebruikt. De tijden werden geschat of men telde. Later werd voor tijdsmetingen een metronoom gebruikt of een stopwatch.¹¹ Met de introductie van de mechanische timer kon de bedieningstijd van het röntgenapparaat worden ingesteld. Toen door de introductie van de gevoelige Ultraspeed-films de belichtingstijden korter werden dan één seconde, waren de mechanische timers niet langer betrouwbaar.¹⁵ In de jaren vijftig werd daarom de elektronische timer geïntroduceerd. Met de nieuwste elektronische timers kunnen tegenwoordig belichtingstijden korter dan 0,1 seconde nauwkeurig ingesteld worden. Dit is noodzakelijk voor de zeer korte belichtingstijden wanneer digitale, intra-orale sensorsystemen gebruikt gaan worden.

5 Conclusies

De afgelopen honderd jaar is de kwaliteit van tandheelkundige röntgenopnamen toegenomen, doordat vooral het doordringend vermogen van de röntgenstraling is toegenomen. Dit wordt veroorzaakt door een toename van de buisspanning en door een toename van de filtering van de röntgenbundel. De toename van het doordringend vermogen heeft ertoe geleid dat er meer structuren op de röntgenfilm zichtbaar gemaakt kunnen worden. De onscherpte van deze structuren is afgenomen, doordat de bewegingsonscherpte en de geometrische onscherpte minder zijn geworden. De kans op bewegingsonscherpte is afgenomen, doordat de belastbaarheid van de focus is toegenomen en ook doordat de gevoeligheid van de röntgenfilms is toegenomen. De geometrische onscherpte is afgenomen, doordat de effectieve focus kleiner is geworden en de focus-huid-afstand is toegenomen.

De verminderde blootstelling wordt veroorzaakt door toename van het doordringend vermogen van de röntgenstraling, de toename van de focus-huid-afstand, vermindering van de veldgrootte, maar vooral door de toegenomen gevoeligheid van de films voor röntgenstraling. De blootstelling per opname is sinds 1920 naar schatting met een factor 1350 verminderd.^{3,4} De vermindering ten opzichte van de allereerste opnamen is waarschijnlijk nog groter en wordt onderstreept door de afname van de belichtingstijd van 25 minuten naar minder dan 0,5 seconde (factor 3000).

Door toepassing van sensorsystemen zal in de toekomst de blootstelling aan röntgenstraling verder worden gereduceerd, terwijl mogelijk ook de kwaliteit vergelijkbaar zal zijn met die van röntgenfilms of zelfs beter. Voorlopig zijn er nog geen aanwijzingen dat andere diagnostische methoden in staat zullen zijn het gebruik van röntgenstraling overbodig te maken. Gezien het belang van de röntgenstraling voor de moderne tandheelkunde behoort '200 Jaar Röntgenstraling' zeker tot de mogelijkheden.¹⁶

Literatuur

- 1 Aken J van. Beschermende maatregelen tegen röntgenstralen in de tandheelkundige praktijk. *Ned Tijdschr Tandheelkd* 1960; 67: 110-29.
- 2 Aken J van. Een vergelijking tussen het gebruik van intra-orale röntgenfilms in 1958 en 1968. *Ned Tijdschr Tandheelkd* 1970; 77: 414-6.
- 3 Boere G, Aken J van. Stralenbelasting toegenomen? *Ned Tandartsenbl* 1986; 23: 799-801.
- 4 Richards W, Colquitt WN. Reduction in dental X-ray exposures during the past 60 years. *J Am Dent Assoc* 1981; 103: 713-8.
- 5 Glasser O. Fifty years of röntgen rays. *Dent Radiography Photography* 1946; 19: 1-5.
- 6 Hepple GH. X-rays in dental practice. London: Philips Electrical Ltd, Century House, undated.
- 7 Siemens. 100 Jahre Röntgen. 100 Jahre Innovationen von Siemens. Erlangen: Siemens Aktiengesellschaft, Bereich Medizinische Technik, 1995.
- 8 McCoy JD. Dental & Oral Radiography. London: Henry Kimpton, 1925.
- 9 Simpson CO. The technic of oral radiography. London: Henry Kimpton, 1928.
- 10 Schall WE. X-rays; their origin, dosage, and practical application. Bristol: John Wright & Sons Ltd, 1961.
- 11 Wylincx WAM van. Röntgen en Nederland. Röntgens betrekkingen tot Nederland en de opkomst der röntgenologie hier te lande. Utrecht: Rijksuniversiteit Utrecht, 1966. Academisch proefschrift.
- 12 Nolan W. Radiation hazards to the patient from oral röntgenography. *J Am Dent Assoc* 1953; 47: 681-4.
- 13 Helmrot E, Alm Carlsson G, Eckerdal O, et al. Influence of scattered radiation and tube potential on radiographic contrast: comparison of two different dental X-ray films. *Dentomaxillofac Radiol* 1991; 20: 135-46.
- 14 Balters W. Leitfaden der zahnärztlichen Röntgenkunde. Berlin: Verlag von Hermann Meusser, 1925.
- 15 Wainwright WW. Dental radiology. New York: McGraw-Hill Book Company, 1965.
- 16 Aken J van. De röntgendiagnostiek. Introductie, integratie en ont-plooiing van een nieuwe techniek. *Ned Tijdschr Tandheelkd* 1993; 100: 102-6.

Summary

100 YEARS OF X-RAYS: INCREASE IN IMAGE QUALITY OF INTRA-ORAL RADIOGRAPHS, DECREASE IN PATIENT EXPOSURE

Key words: Radiology – History

Comparing a present-day bitewing radiograph with one of the first dental radiographs made immediately after the discovery of the X-rays, we can see how enormously the image quality of dental radiographs has improved. Besides the improved image quality, patient exposure has decreased considerably during the past 100 years. Improvement of image quality and reduction of patient exposure have been brought about by changes of X-ray equipment and radiographic films. These changes, which have led to a better image quality and a decrease of patient exposure during the past 100 years, are discussed in this article.