

DE AFSCHERMING VAN RÖNTGENRUIMTEN IN DE TANDHEELKUNDE

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

L. V. ARNOLD

Trefwoorden: Afscherming – Stralenhigiëne – Röntgenologie

Inleiding

Het is bekend dat men bij het gebruik van röntgenstraling behalve de grote voordelen voor de diagnostiek ook de eventuele nadelige gevolgen dient te onderkennen voor de patiënt, de operateur van het röntgenapparaat en eventueel andere personen die zich in de directe omgeving bevinden.

Wanneer röntgenstraling in voldoende grote hoeveelheden op het menselijk lichaam inwerken kan dit nadelige gevolgen opleveren, hetzij voor het bestraalde individu zelf, de zogenaamde somatische effecten, hetzij voor het nageslacht, de genetische effecten.

Nu staat ieder individu gedurende zijn leven bloot aan straling. Behalve de zogenaamde back-ground radiation van natuurlijke oorsprong is deze straling onder meer afkomstig van industriële en medische toepassingen, welke niet meer zijn weg te denken uit ons dagelijks leven. Wanneer men de hoeveelheden straling gaat beschouwen, die een individu mag ontvangen, kan men verschillende categorieën personen onderscheiden:

A. De patiënt.

In de eerste plaats is de tandarts verantwoordelijk voor een juiste toepassing van straling bij de patiënt, die een röntgenonderzoek ondergaat. Bij het beoordelen van de vraag of men de foto's mag maken moet men in overweging nemen of het voordeel van het gebruik van straling het eventuele nadeel van de schade die dit kan opleveren zal overtreffen. Om de stralenhigiëne voor de patiënt te verbeteren zijn vele maatregelen mogelijk; daar wordt hier echter niet verder op ingegaan. Wanneer alle stralenhigiënische maatregelen zijn genomen zal de weegschaal eerder naar de kant van het voordeel doorslaan. De hoeveelheid straling die de patiënt bij een röntgenonderzoek ontvangt is in principe niet aan een maximum gebonden en wordt niet gerekend tot de maximaal toelaatbare dosis.

B. De radiologische werkers.

Een andere groep personen waar de tandarts voor verantwoordelijk is, zijn de medewerkers die binnen

de praktijk werken. Bedoeld worden personen die beroepshalve straling ontvangen. In de eerste plaats is dit de tandarts zelf. Maar ook medewerkers die geregeld vertoeven in de ruimte waar met straling wordt gewerkt behoren tot deze groep; dit zijn bijvoorbeeld mondhygiënisten en tandartsassistentes. Op grond van de kennis over de schadelijke gevolgen van straling heeft men een maximaal toelaatbare dosis vastgesteld. De waarde hiervan is zodanig gekozen, dat het daaraan verbonden gevaar een niet onaanvaardbaar beroepsrisico betekent. Het veronderstelde risico moet daarbij acceptabel zijn voor het individu mede gezien de voordelen van het gebruik van straling.

C. De niet-radiologische werkers.

Tenslotte is de tandarts ook verantwoordelijk voor de hoeveelheid straling die kan worden ontvangen door personen die in de omgeving vertoeven en niet beroepshalve aan straling worden blootgesteld. Dit zijn bijvoorbeeld medewerkers die niet in de röntgenruimte aanwezig behoeven te zijn en patiënten en begeleiders van patiënten die in de wachtruimte verkeren. Niet te vergeten zijn tenslotte personen die buiten de praktijkruimte maar in de onmiddellijke omgeving werken of wonen. Deze categorie zal verder de niet-radiologische werkers worden genoemd.

Het is niet wenselijk deze personen bloot te laten staan aan dezelfde hoeveelheden straling als acceptabel zijn voor de radiologische werkers. Zij hebben het niet zelf in de hand dat zij aan straling bloot staan en hebben geen direct voordeel daarbij. Tevens staan zij wat betreft de stralenhigiëne niet onder controle van een verantwoordelijk persoon als de tandarts. Mede in verband met deze overwegingen is de maximaal toelaatbare dosis voor niet-radiologische werkers gesteld op 1/10 van die van radiologische werkers.

Er zijn verschillende redenen te noemen waarom de materie betreffende het eventueel noodzakelijk zijn van een afschermende wand om personen te bescher-

men tegen straling de laatste tijd meer in de belangstelling is gekomen:

1. Er wordt bij de diagnostiek steeds meer gebruik gemaakt van röntgenfoto's (Van Aken, 1970). Hoewel de opname-technieken verbeteren, de gevoeligheid van de films groter wordt en de aandacht voor de stralenhigiëne toeneemt, is in een vorige publikatie (Arnold, 1973) aangetoond dat verschillende eenvoudig te nemen maatregelen ter verhoging van de stralenhigiëne nog niet voldoende worden toegepast in de praktijk.

2. Er is een toename van het gebruik van zogenaamde long-cone röntgenapparaten in de praktijk. Deze apparaten werken met een hogere buisspanning waardoor de uitgezonden straling een groter doordringingsvermogen bezit.

3. Door de vestiging van groepspraktijken met één gemeenschappelijke röntgenruimte zal het aantal foto's dat hierin wordt gemaakt sterk kunnen toenemen. Tevens zijn de afmetingen van dergelijke röntgencabines vaak gering, zodat zowel de operateur als andere personen zich dicht bij de bron van straling bevinden.

Er is een aantal mogelijkheden om radiologische en niet-radiologische werkers beter tegen straling te beschermen:

1. Voldoende afstand in acht te houden tot de bron van straling. De factor afstand is het eenvoudigste middel om de hoeveelheid straling te verminderen. Indien de bron van straling als een punt wordt beschouwd van waaruit de straling divergeert, dan neemt de intensiteit van de straling af met het kwadraat van de afstand. Dit houdt dus in dat wanneer men de afstand tot de stralingsbron verdubbelt, de hoeveelheid straling viermaal zo klein wordt. Dit hulpmiddel wordt het meest toegepast voor de bescherming van de operateur van het röntgenapparaat.

De 'International Commission on Radiological Protection' (ICRP), welke internationale richtlijnen opstelt ten behoeve van de stralenhigiëne, geeft ten aanzien hiervan het volgende voorschrift: 'Dental installations shall be so arranged that the operator can remain outside the radiation beam at least 2 m from the tube and from the patient.' (ICRP 15, 1969.)

2. Een juiste positie te kiezen.

Niet alleen de afstand, maar ook de positie van de operateur ten opzichte van de patiënt en het röntgenapparaat heeft invloed op de hoeveelheid straling, die de

operateur ontvangt. Men zal zich daarbij de weg moeten voorstellen van de secundaire straling. Deze straling wordt opgewekt in de huid van het aangezicht van de patiënt onder invloed van de primaire bundel röntgenstraling en breidt zich in alle richtlijnen uit. Maar niet in alle richtingen is een vrije weg, want een gedeelte ervan wordt geabsorbeerd door de patiënt. Uit metingen is gebleken dat de volgende vuistregel kan worden gehanteerd: 'De meest gunstige positie voor de operateur is die waarbij hij onder een hoek van 90° à 135° staat met de bundel röntgenstraling en achter de patiënt.' (Arnold, 1973.)

3. Gebruik te maken van een afschermbende wand.

Om personen die in de directe omgeving verkeren te beschermen wordt meestal gebruik gemaakt van de gunstige omstandigheid dat de wanden van de röntgenruimte straling absorberen. Men dient na te gaan of de gebruikte materialen en de daarbij toegepaste dikte voldoende zijn om personen achter deze wand in geen geval aan de maximaal toelaatbare dosis, die voor hen van toepassing is, te laten blootstaan.

Er is een aantal factoren dat invloed heeft op de dikte van de afschermbende wand. Hierbij is het van belang vast te stellen of de afschermbende wand de primaire bundel röntgenstraling dient af te schermen of dat de wand een afscherming moet bieden tegen secundaire straling.

Onder de primaire bundel wordt verstaan de bundel röntgenstraling die rechtstreeks via de opening in het diafragma uit het röntgenapparaat komt. Tot de secundaire straling wordt gerekend de strooi-straling die ontstaat door interactie van de primaire bundel met materie zowel als de straling die door de afscherming van het röntgenapparaat treedt en lekstraling wordt genoemd.

De factoren die invloed hebben op de bepaling van de benodigde dikte van de afschermbende wand zijn:

1. de maximaal toelaatbare dosis voor de te beschermen persoon;
2. de afstand tussen de bron van straling en de te beschermen persoon;
3. het materiaal waaruit de afscherming bestaat;
4. de kwaliteit van de röntgenstraling;
5. de output van het röntgenapparaat;
6. het verbruik (W);
7. de bezettingsfactor (T);
8. de richtingsfactor (U);
9. de hoeveelheid lekstraling.

Met behulp van de bovenstaande factoren is het mogelijk te bepalen of het noodzakelijk is extra maatregelen te nemen om personen, die werkzaam zijn in of in de onmiddellijke omgeving van de röntgenruimte voldoende te beschermen tegen röntgenstraling.

Hierbij dient men echter wel in acht te nemen dat men altijd aan een zo klein mogelijke dosis straling dient bloot te staan. Dit betekent dat de maximaal toelaatbare dosis inderdaad een maximum is en dat men, wanneer dit praktisch mogelijk is, alle maatregelen moet nemen om de dosis, die een persoon kan ontvangen, zo ver mogelijk beneden de maximaal toelaatbare dosis te houden.

Vraagstelling

Uit de inleiding blijkt dat er een aantal methoden is, dat de tandarts kan toepassen om personen, die in of in de onmiddellijke omgeving van de röntgenruimte verkeren tegen röntgenstraling te beschermen.

De vraag hoe deze methoden beoordeeld dienen te worden en hoe men de soort materialen en de dikte van de afschermende wand dient te bepalen diende als uitgangspunt voor het opstellen van een methode, welke tot uiting laat komen of het noodzakelijk is een afschermende wand te gebruiken en zo ja, hoe deze dan dient te zijn geconstrueerd.

Er bestaan op dit gebied reeds tabellen en grafieken die over het algemeen een pasklare oplossing geven voor standaard omstandigheden (NCRP 34 en 35, 1970).

Het leek echter nuttig te komen tot een methode, welke een werkwijze beschrijft, waarbij de afzonderlijke factoren ieder apart worden beoordeeld, zodat meer inzicht en begrip ontstaan van hun invloed.

Daarnaast kwam de vraag naar voren in hoeverre rekening moet worden gehouden met de afscherming van nog niet gebruikte en ontwikkelde films. Zeer kleine hoeveelheden straling kunnen een film een zodanige sluier geven, dat deze hinderlijk wordt bij diagnostisch gebruik.

Het optreden van deze sluier zal behalve van de reeds in de inleiding genoemde factoren ook afhangen van de betreffende filmsoort en van de tijd dat de film ligt opgeslagen.

Methode

Bescherming door afstand

Om te bepalen of men uitsluitend de mogelijkheid van

de afstand vergroten tot de bron van straling kan toepassen als bescherming tegen röntgenstraling dient men de grootte van de volgende variabelen te kennen:

1. De maximaal toelaatbare dosis (P).

Tabel I geeft een overzicht van de maximaal toelaatbare doses, zoals deze onder andere door de ICRP worden aangegeven. Hierin wordt onderscheid gemaakt tussen de groep radiologische werkers, waartoe de tandarts en zijn eventuele medewerkers behoren en de groep niet-radiologische werkers.

Voor het bepalen van de mate van afscherming kunnen de gemiddelde weekdoses worden aangehouden.

Tabel I. Maximaal toelaatbare doses^{1) 2)}.

| | Gem. week dosis ³⁾ | Max. jaar dosis |
|--|-------------------------------|-------------------|
| <i>Radiologische werkers:</i> | | |
| gehele lichaam, gonaden, bloedvormende organen | 0.1 R | 5 R ⁴⁾ |
| huid, bot, glandula thyreoidea | — | 30 R |
| handen, onderarmen, voeten, enkels | — | 75 R |
| overige organen | — | 15 R |
| <i>Niet-radiologische werkers:</i> | | |
| gehele lichaam, gonaden, bloedvormende organen | 0.01 R | 0.5 R |
| huid, bot, glandula thyreoidea | — | 3 R ⁵⁾ |
| handen, onderarmen, voeten, enkels | — | 7.5 R |
| overige organen | — | 1.5 R |

¹⁾ Gegevens uit: ICRP 9 (1965).

²⁾ Dosis als patiënten voor medische en tandheelkundige doeleinden wordt niet meegerekend.

³⁾ Deze waarden alleen te gebruiken voor bepaling van afscherming.

⁴⁾ Voor radiologische werkers geldt een maximaal gecumuleerde dosis van 5 (N-18) R. Daarbij is N de leeftijd in jaren en is groter dan 18.

⁵⁾ Maximale jaardosis is 1.5 R voor de glandula thyreoidea van kinderen tot 16 jaar.

2. De output van het röntgenapparaat op 1 meter afstand (En).

De hoeveelheid straling die per mÅsec (buisstroom maal tijd) het röntgenapparaat verlaat door de opening in het diafragma, hangt onder andere af van de buisspanning (kV), de filtering (mmAl) en de afstand tot de bron van straling, de focus.

In tabel II is voor een aantal röntgenapparaten de output gegeven, gemeten op 1 meter afstand van de focus, uitgedrukt in mR/mÅsec.

De output van een ander fabrikaat röntgenapparaat maar met een zelfde buisspanning en filtering zal over het algemeen niet veel afwijken van die welke in de tabel staan vermeld.

Tabel II. Output röntgenapparaten¹⁾.

| | kV | mmAl ²⁾ | output op 1 m (E _n) | focus-huid-afstand | output t.p.v. huid (E _n) |
|--------------------------------------|----|--------------------|---------------------------------|--------------------|--------------------------------------|
| Philips Oralix General Electric 1000 | 50 | 1.0 | 1.7 mR/mAs | 11.0 cm | 146.7 mR/mAs |
| | 50 | 2.55 | 1.4 mR/mAs | 22.0 cm | 25.3 mR/mAs |
| | 65 | 2.55 | 2.5 mR/mAs | 35.5 cm | 18.9 mR/mAs |
| | 80 | 2.55 | 3.7 mR/mAs | 35.5 cm | 28.9 mR/mAs |
| Ritter Explorer | 65 | 2.5 | 2.2 mR/mAs | 21.5 cm | 43.0 mR/mAs |
| | 65 | 2.5 | 2.2 mR/mAs | 42.0 cm | 12.0 mR/mAs |
| | 80 | 2.5 | 3.5 mR/mAs | 42.0 cm | 19.5 mR/mAs |

¹⁾ Deze gegevens zijn de resultaten van metingen voor de output op 1 meter afstand en voor de output ter plaatse van de huid, onafhankelijk uitgevoerd met behulp van een Philips Universele Dosimeter type 37470 gekoppeld aan een 1 cc ionisatiekamer nr. 37482.

²⁾ De vermelde waarden geven de totale filtering aan, inherente plus toegevoegde filtering.

3. Het verbruik (W).

Deze factor, die de mate van het gebruik van het röntgenapparaat aangeeft, wordt bepaald door het produkt van de factoren buisstroom (mA) en totale tijd (sec) per week dat het apparaat straling uitzendt, uitgedrukt in mAs/week.

Een methode om het verbruik in de praktijk op eenvoudige wijze te bepalen wordt beschreven in de appendix.

4. De richtingsfactor (U).

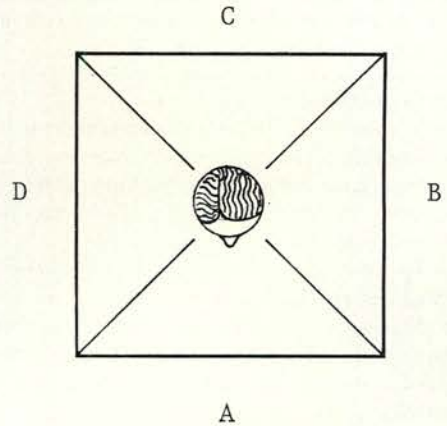
Het gedeelte van de tijd, dat de primaire bundel in de richting van de afschermende wand is gekeerd wordt aangegeven door de richtingsfactor. Tabel III geeft deze factor voor de vier wanden, de vloer en het plafond van een röntgenruimte bij verschillende opname-technieken.

De waarden die in de literatuur worden gevonden zijn niet eensluidend op dit gebied (o.a. Richards, 1967). Verschillende meningen overwegende, is gekozen voor de in tabel III vermelde waarden.

Bij het vervaardigen van een röntgenschedelprofiel-opname is ervan uitgegaan dat het röntgenapparaat aan de zijde van wand B staat, zodat voor wand D een richtingsfactor dient te worden gehanteerd van 1.

Tabel III. Richtingsfactor U.

| | Muur | | | | Vloer | Plafond |
|----------------------|------|-----|-----|-----|-------|---------|
| | A | B | C | D | | |
| Peri-apicale opnamen | 0 | 1/4 | 1/4 | 1/4 | 1/4 | 0 |
| Bite-wing opnamen | 0 | 1/2 | 0 | 1/2 | 0 | 0 |
| Orthopantomografie | 1/3 | 1/3 | 0 | 1/3 | 0 | 0 |
| R.S.P.-opnamen | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |



5. De bezettingsfactor (T).

De mate van bezetting en de wijze van gebruik van de af te schermen ruimte wordt uitgedrukt door de bezettingsfactor. Tabel IV geeft aan welke waarden onder de vermelde omstandigheden gelden. Door waardering van de vijf bovengenoemde factoren is het mogelijk te bepalen of alleen afstand voldoende bescherming kan bieden tegen de primaire bundel. De factoren verbruik (W), richtingsfactor (U) en bezettingsfactor (T) bepalen te zamen de factor WUT. Het produkt van WUT en output geeft de hoeveelheid straling aan die de te beschermen persoon per week ontvangt op 1 meter afstand van de focus. De maximaal toelaatbare dosis voor de te beschermen persoon is ook bekend. Door toepassing van de kwadraatwet, hetgeen inhoudt dat de intensiteit van de straling afneemt met het kwadraat van de afstand, kan de toelaatbare afstand tot de focus worden berekend:

$$D = \sqrt{\frac{WUT \times E_n}{P}}$$

D = afstand in m;

W = verbruik in mAs/week;

U = richtingsfactor;

T = bezettingsfactor;

E_n = output op 1 meter in mR/mAsec;
 P = maximaal toelaatbare dosis in mR/week.

Tabel IV. Bezettingsfactor $T^{1)}$.

| |
|---|
| <p><i>Volledige bezetting $T = 1$</i> Spreek- en behandelkamers, gangen en wachruimten groot genoeg om een receptie of administratie te bevatten, donkere kamers, ontspanningsruimten voor personen die beroepshalve aan straling bloot staan, woonruimten, werkruimten, winkels en andere ruimten in aanliggende gebouwen die beroepshalve in gebruik zijn, kinderspeelplaatsen.</p> |
| <p><i>Gedeeltelijke bezetting $T = 1/4$</i> Gangen te klein om een receptie of administratie te bevatten, ontspanningsruimten voor personen die niet beroepshalve aan straling bloot staan, ruimten waar patiënten verkeren, tenzij deze ruimten vallen onder volledige bezetting, liften met bediening, onbewaakte parkeerplaatsen.</p> |
| <p><i>Onregelmatige bezetting $T = 1/16$</i> Kleine ruimten zoals kasten die te klein zijn voor ander gebruik, toiletten die niet worden gebruikt door personen die beroepshalve aan straling bloot staan, trappen, automatische liften, trottoirs, straten.</p> |

¹⁾ Gegevens uit: ICRP 3 (1960).

Tabel V laat een overzicht zien van deze afstanden, gegeven voor verschillende waarden van WUT bij gebruik van drie verschillende röntgenapparaten. Tabel a geldt voor ruimten, waar zich alleen radiologische werkers ($P = 100$ mR/week) bevinden en tabel b voor alle andere ruimten, bijvoorbeeld waar patiënten ($P = 10$ mR/week) verkeren.

Tabel Va. Afstand-bescherming voor $P = 100$ mR/week.

| WUT | Philips Oralix | G.E. 1000 65 kV | Ritter Explorer 80 kV |
|------|-------------------|--------------------|-----------------------------|
| 100 | 1.30 m | 1.60 m | 1.90 m |
| 150 | 1.60 m | 1.95 m | 2.30 m |
| 200 | 1.85 m | 2.25 m | 2.65 m |
| 300 | 2.25 m | 2.75 m | 3.25 m |
| 400 | 2.60 m | 3.15 m | 3.75 m |
| 500 | 2.90 m | 3.55 m | 4.20 m |
| 750 | 3.60 m | 4.35 m | 5.15 m |
| 1000 | 4.15 m | 5.00 m | 5.90 m |

Wanneer zowel radiologische werkers als niet-radiologische werkers van een zelfde ruimte gebruik maken, bepaalt de categorie met de laagste maximaal toelaatbare dosis, over het algemeen de noodzaak van afscherming.

Tabel Vb. Afstand-bescherming voor $P = 10$ mR/week.

| WUT | Oralix | G.E. 1000 65 kV | Ritter Explorer 80 kV |
|------|---------|--------------------|-----------------------------|
| 100 | 4.15 m | 5.00 m | 5.90 m |
| 150 | 5.05 m | 6.15 m | 7.25 m |
| 200 | 5.85 m | 7.10 m | 8.35 m |
| 300 | 7.15 m | 8.65 m | 10.25 m |
| 400 | 8.25 m | 10.00 m | 11.85 m |
| 500 | 9.20 m | 11.20 m | 13.25 m |
| 750 | 11.30 m | 13.70 m | 16.20 m |
| 1000 | 13.05 m | 15.80 m | 18.70 m |

Afscherming tegen primaire straling

Wanneer men de noodzakelijke dikte van een afschermbende wand wil bepalen, dient men op dezelfde wijze als bij de bepaling van de afstand-bescherming de hoeveelheid straling te bepalen, welke de te beschermen persoon zou ontvangen indien er geen wand aanwezig zou zijn. Het produkt van WUT en de output geeft daarbij de hoeveelheid straling per week aan op 1 meter afstand van de focus. Door toepassing van de kwadraatwet is de invloed van een grotere afstand te bepalen:

$$E_p = \frac{WUT \times E_n}{D^2}$$

- E_p = exposie primaire straling in mR/week op afstand D meter;
- W = verbruik in mAsec/week;
- U = richtingsfactor;
- T = bezettingsfactor;
- E_n = output op 1 meter in mR/mAsec;
- D = afstand focus tot af te schermen gebied in m.

Door de berekende hoeveelheid straling en de maximaal toelaatbare dosis met elkaar te vergelijken is het mogelijk het percentage straling te bepalen dat ten hoogste mag worden doorgelaten door de afschermende wand:

$$B = \frac{P}{E_p} \times 100$$

- B = hoeveelheid doorgelaten straling in %;
- P = maximaal toelaatbare dosis in mR/week;
- E_p = exposie primaire straling in mR/week op afstand D meter.

Hieruit blijkt dat het absorptievermogen van de afschermd wand zodanig dient te zijn dat slechts een fractie B van de straling wordt doorgelaten.

De dikte van de afschermd wand hangt verder nog af van:

1. De kwaliteit van de röntgenstraling. Deze wordt onder andere bepaald door de buisspanning (kV) en de filtering (mmAl). Daarbij is de buisspanning de meest variabele factor. De filtering, die wordt toegepast in de tandheelkundige röntgenapparaten is gering in vergelijking met de filtering die de straling ondergaat bij passage door de afschermd wand. Dit is de reden dat alleen de factor buisspanning in beschouwing wordt genomen. Hoe hoger de buisspanning wordt gekozen, des te groter wordt het doordringingsvermogen van de straling. Dit betekent dat de afschermd wand in een dergelijk geval dikker zal moeten worden.

2. Het materiaal waaruit de afscherming bestaat.

De keuze van het materiaal heeft grote invloed op de mate van absorptie van straling. Daar dit absorptievermogen sterk afhangt van de dichtheid en het atoomnummer van het betreffende materiaal gaat men ervan uit dat bij dezelfde chemische samenstelling (als beton bijvoorbeeld) de dichtheid een goede maat is voor de absorptie. Van vele bouwmaterialen is de dichtheid bekend. Deze dichtheid is voor de bouwer weer een houvast om te weten welke samenstelling wordt bedoeld.

Door aan de verschillende bouwmaterialen een loodequivalent toe te kennen verkrijgt men een vermenigvuldigingsfactor welke kan worden gehanteerd om het absorptievermogen van een ander materiaal bij benadering te bepalen. Gekozen is voor lood omdat dit materiaal van oudsher is gebezigt bij stralingsafscherming.

Bij materialen met een hoger atoomnummer dan de normale bouwmaterialen, bijvoorbeeld staal in plaats van beton, krijgt men, wanneer men alleen de dichtheid in beschouwing neemt, een onderschatting van het loodequivalent. Dit betekent dat op grond van de berekende waarde staal minder straling zou absorberen dan het in werkelijkheid doet.

Bij deze materialen is dan ook een correctie toegepast. In tabel VI zijn de vermenigvuldigingsfactoren voor verschillende bouwmaterialen opgenomen. De vermelde vermenigvuldigingsfactor geeft dus aan het aantal millimeters van het materiaal dat een zelfde absorptie van straling geeft als 1 mm lood bewerkstelt.

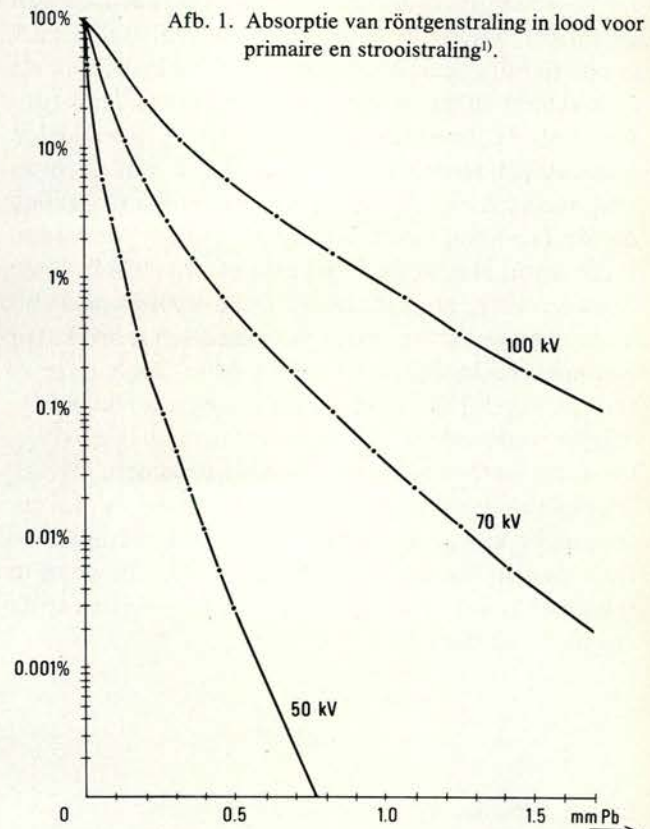
Afbeelding 1 toont een grafiek welke de absorptie laat

Tabel VI. Vermenigvuldigingsfactor bouwmaterialen¹⁾.

| Materiaal | Gemiddelde dichtheid g/cm ³ | Vermenigvuldigingsfactor |
|------------------------------|--|--------------------------|
| Lood ²⁾ | 11.36 | 1 |
| Staal ²⁾ | 7.8 | 6 |
| Bariet ²⁾ | 3.2 | 9 |
| Lood-glas | | |
| (high density) ²⁾ | 6.22 | 26 |
| Loodglas ²⁾ | 3.27 | 50 |
| Marmer | 2.7 | 70 |
| Graniet | 2.65 | 71 |
| Glas | 2.6 | 72 |
| Kalksteen | 2.46 | 76 |
| Kiezelbeton | 2.35 | 80 |
| Zandsteen | 2.20 | 86 |
| Hard baksteen | 2.05 | 92 |
| Tegels | 1.9 | 99 |
| Zacht baksteen | 1.65 | 114 |
| Pleisterwerk | 1.54 | 122 |

¹⁾ Gegevens uit: NCRP 34 (1970) en Blommers (1961).

²⁾ Bij deze materialen is een correctie ingevoerd in verband met het sterk afwijkende atoomnummer ten opzichte van de andere materialen, waarbij alleen de gemiddelde dichtheid in beschouwing is genomen.



¹⁾ Curves verkregen door substitutie van gegevens uit fig. 1 NCRP 34 (1970).

zien van röntgenstraling in lood (Pb), uitgedrukt in procenten doorgelaten straling bij drie verschillende buisspanningen. Het is daarmee mogelijk de noodzakelijke dikte lood af te lezen welke is vereist om ten hoogste het gewenste percentage straling door te laten. Men dient daarbij de curve aan te houden van de maximaal instelbare buisspanning van het betreffende röntgenapparaat.

Door vermenigvuldiging met de vermenigvuldigingsfactor voor de te gebruiken bouwmaterialen vindt men tenslotte de noodzakelijke dikte van het betreffende materiaal.

Afscherming tegen secundaire straling

Wanneer een wand van de röntgenruimte niet wordt getroffen door de primaire bundel, dus wanneer de richtingsfactor de waarde 0 heeft, zal men voor deze wand moeten nagaan of het noodzakelijk is een afscherming aan te brengen tegen secundaire straling. Een dergelijke afschermende wand dient voldoende bescherming te bieden tegen strooistraling en tegen lekstraling.

1. Strooistraling.

De voornaamste bron van strooistraling is de huid van de patiënt. Vanuit de patiënt zal de strooistraling zich in alle richtingen uitbreiden en zowel de kwantiteit als de kwaliteit zullen in alle richtingen verschillend zijn. Wat betreft de kwantiteit mag men de gemiddelde hoeveelheid strooistraling op 1 meter van de bron stellen op 0.05% van de hoeveelheid primaire straling die de bron van strooistraling, de patiënt, ontvangt. Vaak wordt een factor 0.001 gehanteerd (ICRP, 1960; Glasser, 1961; NCRP, 1970). Deze waarde geldt bij toepassing van grote velden voor medisch gebruik. Uit metingen blijkt dat met kleine velden, zoals deze in gebruik zijn bij de tandheelkunde, de factor 0,0005 (= 0,05%) voldoende is. Bij gebruik van minimale velden kan deze factor nog kleiner worden genomen.

Bij een veldgrootte ter plaatse van de huid van 4,6 cm doorsnede kan deze 0.00005 (= 0,005%) bedragen. Dit betekent dat de hoeveelheid straling die de af te schermen ruimte ontvangt berekend kan worden op de volgende manier:

$$E_s = \frac{WT \times E_h}{2000D^2}$$

E_s = exposie strooistraling in mR/week op afstand D meter;
 W = verbruik in mAsec/week;

T = bezettingsfactor;
 E_h = output ter plaatse van de huid in mR/mAsec;
 D = afstand van patiënt tot af te schermen gebied in m.

De richtingsfactor zal hierbij altijd 1 zijn, omdat strooistraling zich in alle richtingen uitbreidt.

De output ter plaatse van de huid is af te lezen uit tabel II. Deze zal onder andere afhangen van de afstand tussen focus en huid.

Wat betreft de kwaliteit mag men voor de tandheelkundige röntgenapparaten aannemen dat het doordringingsvermogen van de strooistraling niet bijzonder veel zal afwijken van die van de primaire bundel.

Door verder de procedure te volgen die geldt voor de afscherming tegen primaire straling zal men de noodzakelijke afscherming tegen strooistraling kunnen bepalen.

2. Lekstraling.

De maximale hoeveelheid straling, die door de afscherming van het röntgenapparaat zelf mag komen is wettelijk vastgelegd. Deze hoeveelheid is voor diagnostiekapparaten 100 mR per uur bij maximale buisspanning en op 1 meter afstand van de focus. Dit komt overeen met 0.03 mR/sec.

Bij de bepaling van de afscherming van een ruimte gaat men ervan uit dat het röntgenapparaat de maximale lekstraling geeft. De hoeveelheid straling die een af te schermen ruimte hiervan ontvangt wordt bepaald door de formule:

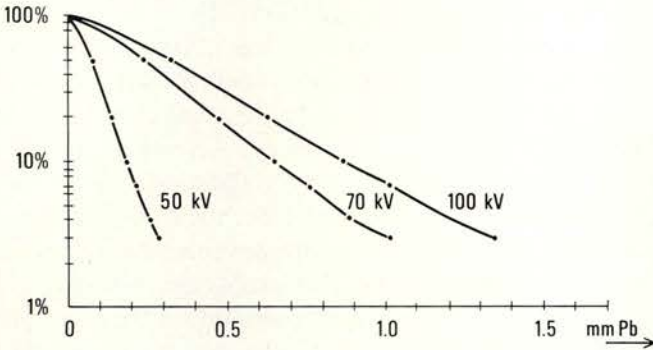
$$E_L = \frac{T \times L \times t}{D^2}$$

E_L = exposie lekstraling in mR/week op afstand D meter;
 T = bezettingsfactor;
 L = maximale hoeveelheid lekstraling op 1 meter in mR/sec;
 t = tijd dat het röntgenapparaat aanstaat in sec/week;
 D = afstand focus tot af te schermen gebied in m.

Het percentage straling dat ten hoogste mag worden doorgelaten wordt weer bepaald op de wijze zoals geldt voor de afscherming tegen primaire straling. De kwaliteit van de lekstraling zal sterk afwijken van die van de primaire bundel, omdat de lekstraling al

sterk is gefilterd door de passage van de loden omhulling van het röntgenapparaat. Daarom wordt voor de vaststelling van de benodigde dikte lood de grafiek van afbeelding 2 gebruikt, welke rekening houdt met dit grotere doordringingsvermogen.

Afb. 2. Absorptie van röntgenstraling in lood voor lekstraling²⁾.



²⁾ Curves verkregen door substitutie van gegevens uit fig. B-3 en tabel 26 NCRP 34 (1970).

De uiteindelijke benodigde afscherming tegen secundaire straling veroorzaakt door stroostraling en lekstraling te zamen wordt als volgt gevonden. Wanneer het verschil in gevonden dikten materiaal groot genoeg is zal de grootste dikte voldoende zijn om bescherming te bieden aan zowel stroostraling als lekstraling.

De term groot genoeg is afhankelijk van de buisspanning en wordt bepaald in millimeters lood.

De volgende waarden kunnen daarbij worden gehanteerd:

- 50 kV --- 0.05 mm Pb;
- 70 kV --- 0.15 mm Pb;
- 100 kV --- 0.24 mm Pb.

Wanneer het gevonden verschil kleiner of gelijk is aan drie maal de vermelde waarde in mm Pb dient éénmaal deze waarde te worden toegevoegd aan de grootste gevonden dikte. Wanneer de gevonden dikten meer dan drie maal de vermelde waarde uit één liggen, dan voldoet de grootste dikte. Deze laatste dikte zal maximaal de toelaatbare dosis doorlaten, veroorzaakt door één van beide soorten straling en daarnaast maximaal 1/10 meer dan de toelaatbare dosis veroorzaakt door de andere soort straling. Deze overschrijding van 1/10 kan worden verwaarloosd in vergelijking met de afrondingen in de berekeningen.

Afscherming van filmmateriaal

Wanneer filmmateriaal, dat nog niet is gebruikt of is ontwikkeld, wordt bewaard in de röntgenruimte of in aangrenzende ruimten, zal hiervoor moeten worden nagegaan of de hoeveelheden straling die op het materiaal kunnen vallen niet te groot worden. Uit proefopnamen is gebleken, dat hoeveelheden straling van 0.3 mR de film reeds beïnvloeden met als resultaat een sluier in de ontwikkelde film. Bij deze proefopnamen werd gebruik gemaakt van Kodak Ultra-Speed films. Als maximaal toelaatbare dosis voor dit filmmateriaal zal 0.1 mR worden aangehouden. Wanneer nog gevoeliger filmsoorten worden gebruikt dan Kodak Ultra-Speed zal deze maximaal toelaatbare dosis nog lager moeten worden gekozen.

Wanneer de filmbergplaats zich in de primaire straling kan bevinden, wordt de procedure gehanteerd zoals vermeld voor het bepalen van de afscherming tegen primaire straling, met dien verstande dat aan de bezettingsfactor een waarde 1 moet worden toegewezen.

De maximaal toelaatbare dosis per week (P) is daarbij afhankelijk van de opslagtijd:

| | | |
|-------------------|-----|--------------------|
| Bij 1 week opslag | --- | P = 0.1 mR/week; |
| 1 maand | --- | P = 0.025 mR/week; |
| ½ jaar | --- | P = 0.004 mR/week; |
| 1 jaar | --- | P = 0.002 mR/week. |

Door de kleine waarden van P, zal de afscherming voor filmmateriaal veel dikker moeten zijn dan die voor personen.

Wanneer de filmbergplaats niet in de primaire bundel komt, dus wanneer de richtingsfactor de waarde 0 heeft, kan de procedure voor het bepalen van de afscherming tegen secundaire straling worden gehanteerd.

De benodigde afscherming zal in dit laatste geval veel lager liggen. Hieruit blijkt dat het van belang is de plaats van de filmberging met zorg te bepalen. Bij voorkeur zal dit een plaats zijn waar de richtingsfactor 0 is.

Discussie en conclusie

Wanneer men op de hiervoor beschreven methode de noodzakelijke afscherming van de wand bepaalt, zal hieruit blijken dat in een aantal gevallen het percentage doorgelaten straling veel hoger mag zijn dan 100%. Met andere woorden dat er geen afscherming noodzakelijk is. Hierbij komt nog dat de absorptie van de

primaire bundel in het hoofd van de patiënt wordt verwaarloosd. Men berekent de afscherming tegen de primaire bundel alsof deze rechtstreeks op de betreffende wand zou zijn gericht. In dit verband kan het nuttig zijn te vermelden dat bijvoorbeeld een afscherming van een bakstenen muurtje van ongeveer 10 cm dikte overeenkomt met een loodafscherming van 1 mm Pb.

Toch dient er nogmaals op te worden gewezen dat iedere persoon altijd aan een zo gering mogelijke hoeveelheid straling behoort bloot te staan. Wanneer het dus praktisch mogelijk is in de wand van de röntgenkamer een afscherming in te bouwen, die meer afschermt dan de minimale eis, dan is dit zeker aan te bevelen. Een andere mogelijkheid om de dosis voor een bepaalde groep personen te verlagen is om de opstelling van het röntgenapparaat zodanig te kiezen, dat de primaire bundel zo min mogelijk is gericht op ruimten waar vaak personen aanwezig zijn. Vooral bij nieuwbouw is met deze mogelijkheid rekening te houden.

Gezien de eis van minimale bestraling van personen en het feit dat wettelijk meer aandacht is voorgeschreven wat betreft de stralenhigiëne en de registratie van ontvangen doses in gevallen waar personen bloot staan aan doses die liggen boven $1/3$ van de maximaal toelaatbare doses, zou men kunnen overwegen om bij de gegeven rekenmethode niet de maximaal toelaatbare dosis te hanteren maar een dosis die een factor 10 of zelfs een factor 100 lager ligt.

Men bouwt dan automatisch een extra veiligheid in, waarbij dan ook rekening wordt gehouden met de onzekere factor van het gebruik van röntgenstraling in de toekomst. Daarmede verzekert men zich van een röntgenruimte die ook nog over bijvoorbeeld 10 jaar voldoet wat betreft veiligheid. Verbouwen is duurder dan vooruitzien.

Daarom kan als algemene conclusie worden gesteld dat, hoewel de directe noodzaak van het toevoegen van extra afscherming in de wanden van de röntgenruimte niet altijd aanwezig zal zijn, het toch uit oogpunt van maximale stralenhigiëne aan te bevelen is een zekere afscherming aan te brengen.

De beschreven methode kan dan een hulpmiddel zijn om enig inzicht te verkrijgen omtrent de te kiezen dikte en soort van het te gebruiken materiaal.

Appendix

Eenvoudige methode ter bepaling van het verbruik (W) (vrije vertaling uit NCRP 35, 1970)

Men begint de test met een nieuwe verpakking films van elk formaat, dat in gebruik is. Wanneer de verpakking wordt geopend wordt de datum genoteerd. Na verbruik van de laatste film zal een nieuwe verpakking worden aangebroken. De datum wordt wederom genoteerd. Nadat een aantal verpakkingen is verbruikt en de test lang genoeg heeft geduurd om een reëel gemiddelde aan te tonen, kan het totale aantal verbruikte films worden bepaald. Als belichtingstijd van iedere film wordt de langste tijd aangenomen die wordt gebruikt; hiervoor komt meestal de belichtingstijd voor het molaargebied in de bovenkaak in aanmerking. Het produkt van belichtingstijd (sec), buisstroom (mA) en aantal films wordt bepaald en deze wordt gedeeld door het aantal weken dat de test heeft geduurd.

Het resultaat geeft het gemiddelde verbruik per week in mAsec/week.

Voorbeeld:

| | |
|-----------------------------|------------------|
| Aantal verpakkingen | 8; |
| Aantal films per verpakking | 150; |
| Totaal aantal films | 1200; |
| Buisstroom röntgenapparaat | 10 mA; |
| Langste belichtingstijd | 1 sec; |
| Totaal mAsec tijdens test | 12.000; |
| Duur van de test | 10 weken; |
| Verbruik (W) | 1200 mAsec/week. |

Samenvatting:

De bescherming tegen röntgenstraling van personen die in de praktijk of in de directe omgeving verkeren, is de verantwoordelijkheid van de tandarts. Om te voorkomen dat deze personen meer straling kunnen ontvangen dan de maximaal toelaatbare doses aangegeven, zijn onder meer de volgende maatregelen te nemen:

- een voldoende afstand in acht nemen tot de bron van straling;
- een afschermende wand plaatsen tussen de bron van de straling en de te beschermen persoon.

Beschreven wordt een rekenmethode, welke antwoord geeft op de vraag, hoe deze maatregelen beoordeeld dienen te worden en hoe men de soort materialen en de daarbij behorende dikte van een eventueel noodzakelijke afschermende wand dient te bepalen. Tevens wordt nagegaan in hoeverre onbelicht filmmateriaal beschermd dient te worden tegen de invloed van straling tijdens de opslagstijd. Bij deze methode is gekozen voor een werkwijze, waarbij de afzonderlijke factoren die invloed hebben op de benodigde afscherming, ieder apart worden beoordeeld, zodat meer inzicht en begrip ontstaan van hun invloed.

Summary:

Title: Barrier design in dental practice.

It is the responsibility of the dentist to give attention to the X-ray radiation protection of dental office personnel and other persons in nearby areas.

To ensure that the dose received by any individual (other than the patient) does not exceed the indicated maximum permissible values, the following measures can be taken:

1. providing sufficient distance between the individual and the source of radiation
2. interposing a protective barrier between the individual and the source of radiation.

This paper is intended primarily to give an answer to the question of how to assess these measures and how to select appropriate shielding materials and to calculate barrier thicknesses. At the same time the protection of unexposed X-ray films during storage is examined. A method has been chosen in which the factors relating to barrier design are considered separately; consequently, more insight will be gained in their influence on protective measures.

Literatuur:

1. Aken, J. van (1970): Een vergelijking tussen het verbruik van intra-orale röntgenfilms in 1958 en 1968. Ned Tijdschr Tandheelkd 77: 414-416.
2. Arnold, L. V. (1973): De toepassing van enkele eenvoudige maatregelen ter bevordering van de stralingshygiëne bij het maken van röntgenopnamen. Ned Tijdschr Tandheelkd 80: 386-397.
3. Blommers, P. C. (1961): Bescherming tegen ioniserende straling,

benaderd vanuit de materiaal-technische zijde. Tijdschr Ned Ver Rad Lab 11: 1-6.

4. Glasser, O., Quimby, E. H., Taylor, L. S., Weatherwax, J. L., Morgan, R. H. (1961): Physical foundations of radiology. 3rd. ed. Harper & Row, New York and London. P. 401-424.
5. International Commission on Radiological Protection (1960): Protection against X-rays up to energies of 3 MeV and beta- and gamma-rays from sealed sources. ICRP-publication 3, Pergamon Press.
6. International Commission on Radiological Protection (1965): Recommendations of the ICRP. ICRP-publication 9, Pergamon Press.
7. International Commission on Radiological Protection (1969): Protection against ionizing radiation from external sources. ICRP-publication 15, Pergamon Press.
8. National Council on Radiation Protection and Measurements (1970): Medical X-ray and gamma-ray protection for energies up to 10 MeV; structural shielding design and evaluation. NCRP-report 34, NCRP-publications.
9. National Council on Radiation Protection and Measurements (1970): Dental X-ray protection. NCRP-report 35, NCRP-publications.
10. Richards, A. G. (1967): The 'use factor' in radiation barrier design. Oral Surg. 23: 745-750.
11. Trout, E. D., Kelley, J. P., Lucas, A. C. (1962): Conventional building materials as protective barriers in dental röntgenographic installations. Oral Surg 15: 1211-1222.

Maart 1976.

Sorbonnelaan 16,
Utrecht.

AGAR-HYDROCOLLOÏD-AFDRUKMATERIALEN

C. L. DAVIDSON, fysicus

INGRID S. HOEKSTRA, chemisch analiste

Trefwoorden: Materiaalkunde – Afdrukmaterialen

Inleiding

Lang voor de introductie van het alginaat en de elastomeren (polysulfiden, siliconen en poly-ethers) vormde agar het enige bruikbare elastische afdruk materiaal in de tandheelkunde. Hoofzakelijk door de gecompliceerde wijze van verwerking en de instabiliteit van de afdruk is dit materiaal in onbruik geraakt. Toch zijn er ondanks deze vermeende 'onhandige' eigenschappen, argumenten te vinden, die agar juist aantrekkelijk maken in situaties waar de andere elastische materialen minder geschikt zijn. Het voornaamste verschil schuilt in de wijze van verstijven van

de visceuze massa. In tegenstelling tot een chemische reactie welke verantwoordelijk is voor de geleidelijke verstijving bij alginaten, treedt de fase-overgang bij agar in principe *abrupt* op door afkoeling (energieverlies). Dit moet niet verward worden met het eveneens geleidelijk verstijven van thermoplasten (wassen, harsen).

Het agar is een reversibel hydrocolloïd. Dat wil zeggen: de verstijving is weer ongedaan te maken door temperatuurverhoging. Het visceuze materiaal bestaat uit (zie tabel I) hydrofiele organische macromoleculen,

Uit de vakgroep Tandheelkundige Materiaalwetenschappen van de Universiteit van Amsterdam.
Voorzitter: Dr. C. L. Davidson.